

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

Сироватський Олександр Анатолійович

УДК 628.16

**Замкнені системи оборотного водопостачання  
металургійних підприємств, розташованих на Дніпрі  
(на прикладі комбінату “Запоріжсталь”)**

05.23.04 — “Водопостачання, каналізація”

*Автореферат*

*дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук*

Харків 1997



00751305 (L)

Дисертацією є рукопис

**Робота виконана** в Харківському державному технічному університеті будівництва і архітектури

**Наукові керівники:**

доктор технічних наук, професор **Пантелят Гаррі Семенович**,  
кандидат технічних наук, доцент **Колотило Микола Іванович**

**Офіційні опоненти:**

доктор технічних наук, професор, завідуючий кафедрою «Водопостачання, водовідведення і очищення вод» Харківської державної академії міського господарства **Душкін Станіслав Станіславович**,  
кандидат технічних наук, доцент, завідуючий кафедрою «Охорона праці і навколишнього середовища» Харківського державного політехнічного університету **Березуцький Вячеслав Володимирович**.

**Провідна установа:**

**Український науково-дослідний інститут екологічних проблем**  
(УкрНДІЕП) (м. Харків).

Захист відбудеться « 27 » листопада 1997 року о 12 годині на засіданні спеціалізованої вченої Ради Д 02.07.01 при Харківському державному технічному університеті будівництва і архітектури.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці університету.

Автореферат розісланий 21.10.1997.

Вчений секретар спеціалі-  
зованої вченої Ради

**Колотило М.І.**

## Загальна характеристика роботи

**Актуальність роботи.** Чорна металургія України є одним з найбільш значних споживачів води в народному господарстві країни. Незважаючи на те, що на металургійних підприємствах України широко використовується оборотне водопостачання, частка якого перевищила 80 %, кількість стічних вод, які скидаються у водоймища, є ще досить значною і перевищує 1.5 млрд. м<sup>3</sup>/рік.

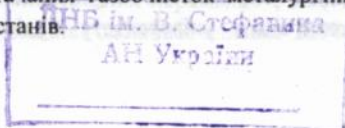
Враховуючи, що більшість металургійних підприємств розташована в регіонах, які мають обмежений дебіт джерел водопостачання, єдиним технічно прийнятним та економічно доцільним рішенням є створення таких систем оборотного водопостачання, які дозволяють виключити скид стічних вод у водоймища. Найбільш крупні підприємства скидають у Дніпро значну кількість очищених і недостатньо очищених стічних вод та здійснюють відбір з цієї ріки відповідної кількості свіжої води. Це призводить до неблагополучного екологічного стану Дніпра та обусловлює актуальність переведення металургійних підприємств, розташованих в басейні цього найкрупнішого в країні водоймища, на замкнене оборотне водопостачання.

**Роботу виконано в межах державної програми** «Розробка теорії екологічної безпеки та надійності життєдіяльності для об'єктів будівництва, промисловості та впровадження екологічних систем водопостачання. Розробка та впровадження замкнених систем оборотного водопостачання машинобудівних та металургійних підприємств, які виключають скид стічних вод у водоймища України».

**Метою дисертаційної роботи** є розробка технічних рішень для переведення системи оборотного водопостачання металургійного комбінату «Запоріжсталь» на замкнений режим роботи на основі узагальнення наявного досвіду, а також результатів досліджень технологій пом'якшення засолонених вод.

### **Наукова новизна роботи:**

1. Досліджено властивості та умови утворення основних модифікацій сульфату кальцію, які мають місце в системах оборотного водопостачання металургійних виробництв.
2. Розроблено новий метод термічного пом'якшення нейтралізованих вапном промивних стічних вод, які утворюються при сірчаноокислотному травленні, що дозволяє перевести травильні відділення на замкнене оборотне водопостачання. Цей метод також рекомендовано розширити і на продувочні води газоочисток доменних і мартенівських цехів, сіркоочисток ТЕЦ і аглофабрик та інші води, які містять сульфат кальцію.
3. Сформульовано основні принципи створення замкнених систем оборотного водопостачання основних металургійних виробництв та підприємств у цілому.
4. Запропоновано залежності щодо розрахунку водно-сольового балансу систем оборотного водопостачання газоочисток металургійних агрегатів і травильних відділень прокатних станів.



### **Практичне значення роботи:**

1. Розроблено технічні рішення для перевodu системи водопостачання металургійного комбінату «Запоріжсталь» на замкнений режим роботи на основі наявного досвіду, а також результатів дослідження технологій пом'якшення засолених стічних вод.
2. Розроблено метод термічного пом'якшення нейтралізованих вапном промивних стічних вод сірчаноокислотного травлення металу, що дозволяє перевести травильні відділення на замкнене оборотне водопостачання.
3. Визначено раціональну кількість стічних вод, які направляються на споруди термопом'якшення.
4. Нові технічні рішення впроваджено в галузеві норми проектування об'єктів водного господарства підприємств чорної металургії України.

### **Особистий внесок автора:**

1. Отримано результати лабораторних досліджень на двох експериментальних установках: циркуляційному контурі і термопом'якшувачі.
2. Запропоновано залежності для розрахунку водного і сольового (матеріального) балансів щодо систем оборотного водопостачання газоочисток металургійних агрегатів і травильних відділень прокатних станів.
3. Отримано математичні залежності для визначення основних параметрів роботи споруд термічного пом'якшення, а також величини лужності і концентрації іонів кальцію, які будуть в охолоджувальних замкнених системах оборотного водопостачання при сталому режимі.
4. Запропоновано нову технологію термічного пом'якшення стічних промивних вод травильних відділень та продувочних вод газоочисток доменного і мартенівського цехів.

### **На захист виноситься:**

1. Новий метод термічного пом'якшення нейтралізованих вапном промивних стічних вод сірчаноокислотного травлення металу, який дозволяє перевести травильні відділення на замкнене оборотне водопостачання.
2. Технічні рішення з перевodu системи водопостачання металургійного комбінату «Запоріжсталь» на замкнений режим роботи, який виключає скид стічних вод у Дніпро. Зокрема це стосується травильних відділень прокатних станів.
3. Основні принципи створення замкнених систем оборотного водопостачання металургійних підприємств (на прикладі комбінату «Запоріжсталь»).
4. Залежності для розрахунку водно-сольового балансу систем оборотного водопостачання газоочисток металургійних агрегатів та травильних відділень прокатних станів.

**Апробація роботи.** Основні результати роботи і головні положення дисертації доповідались автором на 50, 51, 52 науково-технічних конференціях Харківського державного технічного університету будівництва і архітектури

(ХДТУБА) та на 28 науково-технічній конференції викладачів, аспірантів і співробітників Харківської державної академії міського господарства (ХДАМГ).

**Публікації.** За результатами роботи опубліковано 10 друкованих робіт у видавництвах України і Росії, в тому числі одна без співавторів, одержано позитивне рішення Держпатенту України на видачу патенту на винахід.

**Структура та обсяги дисертації.** Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку літератури із 174 найменувань, додатків і вміщує 119 сторінок основного тексту, 18 таблиць, 28 малюнків, усього - 181 сторінка.

### Зміст роботи

У вступі обґрунтовано актуальність роботи, сформульовано мету й задачі досліджень, наукова новизна, практична цінність, положення, які виносяться на захист.

В першому розділі дисертації наведено аналіз існуючого стану щодо створення замкнених систем оборотного водопостачання металургійних виробництв і підприємств в цілому. Розглянуто вимоги до якості води, яка використовується в системах оборотного водопостачання, існуючі методи очищення стічних вод від завислих речовин, масел та нафтопродуктів, а також методи запобігання утворенню щільних солевих відкладень і корозійного зносу обладнання в системах оборотного водопостачання. Виконано аналіз причин скиду стічних вод металургійними підприємствами у водоймища.

Літературні дані свідчать про те, що однією з головних причин, які перешкоджають створенню замкнених систем оборотного водопостачання підприємств чорної металургії, є відсутність ефективних технічних рішень з використання у замкнутому оборотному водопостачанні таких стічних вод: нейтралізовані вапном промивні стічні води сірчаноокислотного травлення металу, продувочні води газоочисток металургійних агрегатів (доменних, мартенівських) сіроочисток ТЕЦ і аглофабрик та ін. Неможливість переведення систем на замкнений режим роботи зумовлена небезпекою утворення щільних солевих відкладень, в основному сульфату кальцію, в комунікаціях та обладнанні систем водопостачання. Існуючі методи очистки стічних вод від сульфату кальцію дозволяють використовувати до 80-85 % води в обороті. Найбільш перспективним є метод термічного пом'якшення стічних вод, які вміщують сульфат кальцію, оснований на зниженні розчинності гіпсу з підвищенням температури.

У другому розділі викладено результати вивчення водного господарства металургійного комбінату «Запоріжсталь» - підприємства з повним металургійним циклом від переробки руди до одержання готової продукції станів гарячої прокатки з обробкою поверхні металу (травленням), подано коротку характеристику основних систем оборотного водопостачання комбінату. Всі основні цехи комбінату мають систему оборотного водопостачання переважно з повторним використанням води. Встановлено, що зараз комбінат споживає близько 22940 м<sup>3</sup>/год свіжої дніпровської

води, а недостатньо очищені промислові стічні води у кількості 20480 м<sup>3</sup>/год скидають у Дніпро через близькі балки та яри. Для підприємств Запорізького промислового вузла, в тому числі і для комбінату «Запоріжсталь», основним є випуск стічних вод через балку Капустянка, де стічні води зосереджуються і відстоюються, що дозволяє до певного ступеню знизити вміст в них завислих речовин і нерозчинених масел, але не вирішує проблеми прогресуючого забруднення Дніпра. Шлам, який накопичується в балці, подається земснарядами у шламонакопичувач багаторічного зберігання, розташований на балці Городиській на відстані 30 км від б. Капустянка. Поверхневі стоки з території комбінату у кількості 1.6 млн. м<sup>3</sup>/рік також поступають через б. Капустянка у Дніпро. У зв'язку з переповненням шламонакопичувача якість води, яка скидається у Дніпро, помітно погіршилася, що значною мірою негативно позначається на якісному складі дніпровської води нижче випуску. Якісний склад стічних вод основних виробництв комбінату наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 - Якісний склад стічних вод комбінату «Запоріжсталь»

Система водопостачання	рН	Завислі речовини	Загальний солевміст	СГ	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Лужність, Щ	Жорсткість, Ж	Ca <sup>2+</sup>
ТЕЦ-ПВС	8.1	13.0	294.4	31.8	63.8	2.8	3.28	2.23
Кисневий цех	8.2	12.7	274.4	30.1	62.0	2.8	3.3	2.4
Газоочистки доменних печей	7.9	3420	601.1	86.7	115.7	6.2	7.2	5.3
Газоочистки мартенівських печей	8.3	2562	501.0	51.0	178.0	1.93	4.68	3.7
Промивні води травильних відділень	11	72	2840	56	1451	3.6	31.5	31.5
Скид з б. Капустянка в р. Дніпро	7.1	320.5	1020	358.4	561.0	1.8	8.9	6.8
Технічна вода з р. Дніпро	8.0	4.8	262	30	60.2	2.85	3.63	2.54

Розроблено методику розрахуну водного і сольового (матеріального) балансів замкнених «умовно-чистих» і «брудних» систем оборотного водопостачання. За допомогою ПЕОМ розраховано водно-сольовий баланс основних замкнених систем водопостачання комбінату, визначено хімічний склад оборотної води цих виробництв. На основі аналізу досвіду експлуатації систем оборотного водопостачання

газоочисток металургійних агрегатів нами запропоновано рівняння водно-сольового балансу щодо цих систем (1):

$$C = C_1 \left( 1 + \frac{P_1 + P_3 + P_6}{P_2 + P_4 + P_5 + P_7} \right) + Q \Delta C \frac{1}{P_2 + P_4 + P_5 + P_7} \quad (1)$$

де  $C$  і  $C_1$  - концентрації хлоридів в оборотній і поповнюючій воді,  $г/м^3$ .

$P_1$  - втрати води на випаровування в охолоджувачі,  $м^3/год$ ;

$P_2$  - втрати води на краплиновиніс в охолоджувачі,  $м^3/год$ ;

$P_3$  - втрати води на випаровування у виробництві,  $м^3/год$ ;

$P_4$  - втрати води на краплиновиніс у виробництві,  $м^3/год$ ;

$P_5$  - продувка системи,  $м^3/год$ ;

$P_6$  - втрати води на випаровування в процесі очистки,  $м^3/год$ ;

$P_7$  - втрати води зі шламом,  $м^3/год$ ;

$\Delta C$  - приріст компонента,  $г/м^3$ ;

$Q$  - загальна кількість води, яка подається споживачу,  $м^3/год$ ;

Показано, що визначити концентрації сольових компонентів, які зазнають зміни в оборотній воді, з рівняння водно-сольового балансу не є можливим. Це визвано тим, що накопичення в системах оборотного водопостачання бікарбонату кальцію вище рівноважної концентрації призводить до його розпаду з утворенням щільніших відкладень карбонату кальцію.

В третьому розділі подано характеристику, і описано властивості модифікацій сульфату кальцію, умови їх утворення, приводяться методики проведення досліджень та обробки експериментальних даних, які були отримані в результаті досліджень. Установлено, що в нейтралізованих вапном промивних стічних водах сірчано-кислотного травлення сульфат кальцію може існувати у вигляді дигідрату і півгідрату.

Наведено результати досліджень з приводу вивчення розчинності і кристалізації сульфату кальцію на лабораторній моделі термопом'якшувача. Під час досліджень було встановлено, що в розчинах, які містять хлориди і сульфати, характерних для реальних систем водопостачання з мінімальною кількістю продувки або для морської води, розчинність сульфату кальцію дещо вище у порівнянні з розчинністю у дистилірованій воді, але різниця в результатах є незначною. Найбільш ефективною температурою термічного пом'якшення є  $120 - 170 \text{ } ^\circ\text{C}$ . При більш низькій температурі (нижче  $120 \text{ } ^\circ\text{C}$ ) розчинність сульфату кальцію суттєво підвищується, що призводить до зниження ефекту пом'якшення. Підвищення температури вище ніж  $170 \text{ } ^\circ\text{C}$  призводить до незначного зниження розчинності сульфату кальцію, в той час як підвищуються витрати тепла на термопом'якшення і тиск насичення води, що призводить до підвищення тиску в термопом'якшувачі.

Отримані результати експериментів свідчать про те, що концентрацію сульфату кальцію у пом'якшеній воді в залежності від температури пом'якшення

може бути доведено при температурі 120 °С до 0.9 г/л, при 170 °С - до 0.2 г/л, що в 2-10 разів нижче його розчинності за нормальних умов (18-20 °С). При цьому витрати тепла на термопом'якшувачі за результатами експериментів складають відповідно 0.42 і 0.67 ГДж/м<sup>3</sup>.

При визначенні параметрів роботи установок термічного пом'якшення вод із значним перенасиченням сульфатом кальцію, якими є промивні води сірчанокислотного травлення, оброблені вапном, з'явилась необхідність вивчення впливу температури й висоти завислого шару контактної маси та закономірностей процесу кристалізації сульфату кальцію в умовах, які розглядаються. Результати цих досліджень підтвердили той факт, що сульфат кальцію спочатку кристалізується у вигляді півгідрату, який згодом переходить в ангідрит, що зумовлює доцільність двохступеневого термічного пом'якшення. При цьому півгідрат, який утворився, необхідно відділити на першому ступеню пом'якшення, а кристалізацію ангідриту проводити на другому ступеню. Це, по-перше, скоротить час, потрібний для перекристалізації півгідрата в ангідрит, а, по-друге, виключить вплив дрібних кристалів півгідрату, які транспортуються водою, до верхнього прошарку термопом'якшувача на вміст сульфату кальцію в термопом'якшеній воді і стабільність останньої. Окрім того, ці дослідження виявили доцільність використання кристалічної контактної маси, яка складається з ангідриту сульфату кальцію або іншого інертного матеріалу (наприклад, кварцевого піску).

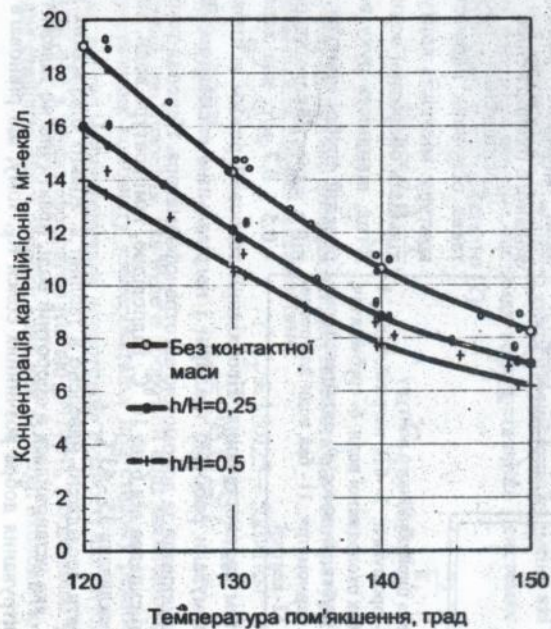
Експерименти проводили за таких основних показників роботи установки: температура пом'якшення - 120 - 170 °С, початковий вміст сульфату кальцію в воді - 1.8 - 2.1 г/л, швидкість струменю води, яка пом'якшувалася, - 25 м/год, відношення висоти завислого шару контактної маси до загальної робочої висоти термопом'якшувача - 0.13 - 0.5.

Результати досліджень для першого і другого ступенів наведено на рис. 1. З рисунку видно, що введення кристалічної контактної маси в апарат у вигляді ангідриту сульфата кальцію значно вплинуло на хід процесу кристалізації гіпсу - залишковий вміст останнього на виході із установки наблизився до розчинності ангідриту. Ефект процесу пом'якшення при цьому перевищив 90 %.

Хімічний аналіз шламу з термопом'якшувача показав, що він складається на 90 % з сульфату кальцію в формі ангідрита. Концентрація твердих речовин - 296 г/л, вологість шламу - 40 %. Діапазон розподілу контактної маси за крупністю часток - 0.04 - 0.32 мм, а еквівалентний діаметр - 0.096 мм. Щільність матеріалу завантаження - 2700 кг/м<sup>3</sup>. В затверділому вигляді цей шлам має достатньо міцність і вимагає значних зусиль для його руйнування, що дозволяє зробити припущення про можливість подальшого використання надлишкового шламу в виробництві будівельних матеріалів.

В четвертому розділі наводиться класифікація металургійних підприємств з точки зору наукових і технічних труднощів, які виникають при переводі їх на замк-

а)



б)

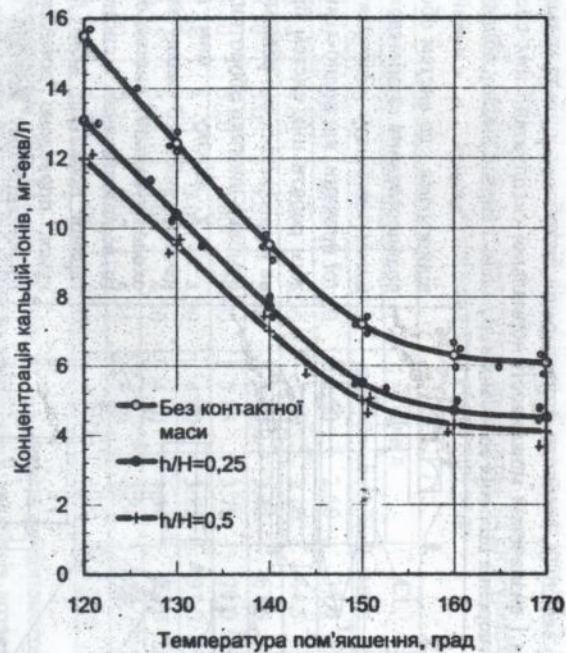
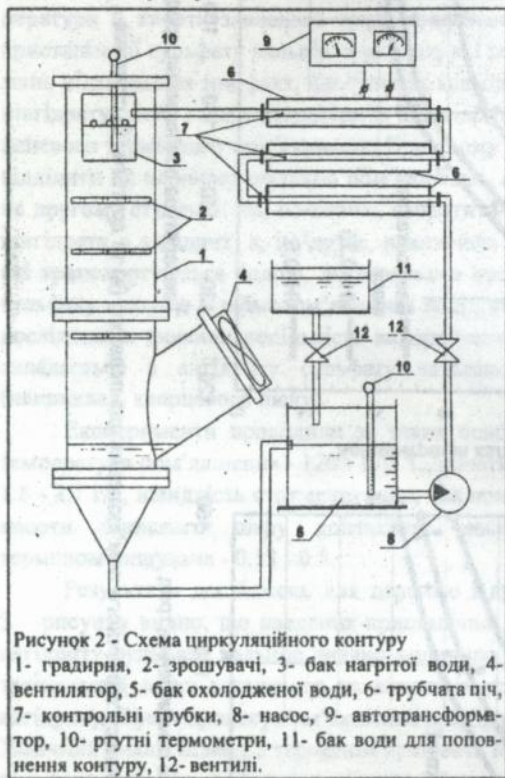


Рисунок 1 - Показники процесу термічного пом'якшення для першого (а) та другого (б) ступенів

нене оборотне водопостачання.

При створенні замкнених систем оборотного водопостачання охолоджувальних «умовно-чистих» систем комбінату «Запоріжсталь» виникає потреба прогнозу сольового складу (а, особливо, концентрацій бікарбонат-іонів та кальцій-іонів) оборотної води і визначення можливості нормальної експлуатації цих систем, яка виключала б утворення щільних сольових відкладень і корозії металу обладнання.



Сказане в повній мірі відноситься і до систем оборотного водопостачання станів гарячої прокатки комбінату «Запоріжсталь» з тої причини, що водно-хімічний режим роботи цих систем практично не відрізняється від режиму роботи «умовно-чистих» оборотних циклів.

У зв'язку з цим для визначення якісного складу замкнених охолоджувальних систем оборотного водопостачання і систем станів гарячої прокатки, який прогнозується, проведено дослідження на циркуляційному контурі (рис. 2), який моделює роботу системи водяного охолодження.

Дослідження проводили за таких основних параметрів роботи контуру: місткість контуру - 7,25 л, кількість оборотної води - 100 - 120 л/год, швидкість руху води у контрольній трубці контуру, виготовлений з жаростійкого кварцевого скла - 0,5 - 0,7 м/с, яка характерна для

реальних систем водопостачання. Необхідний тепловий режим в циркуляційному контурі підтримували роботою градирні і нагрівальним елементом. Температуру нагрівання регулювали за допомогою автотрансформатора. Перепад температур до і після градирні складав від 6 до 10 °С. Відповідно, температура води, яка подається на градирню, складала 35 - 43 °С.

Результати досліджень наведено в таблиці 2. Аналіз одержаних даних показав: лужність, яка установилася в оборотній воді, практично не залежить від коефіцієнту концентрування добре розчинних солей  $K_K$ , тому, що рівновага установлюється на протязі 8 - 20 годин безперервної роботи. При цьому, величина лужності,

яка установлюється в системі, залежить від температури оборотної води. Надлишок бікарбонату кальцію, який було введено зі свіжою водою в циркуляційну систему, над рівноважною розкладається, а карбонат кальцію, який утворився, випадає у вигляді щільних відкладень по тракту руху води або у вигляді інертного осаду.

Таблиця 2 - Опосередковані результати досліджень на циркуляційному контурі.

К <sub>к</sub>	Хімічний склад оборотної води							
	Лужність, мг-екв/л			Са <sup>2+</sup> , мг-екв/л			СГ, мг/л	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/л
	t=35 °C	t=37 °C	t=40 °C	t=35 °C	t=37 °C	t=40 °C		
Поч.	2.80	2.80	2.80	2.50	2.50	2.50	35.0	60.0
1.47	4.80	4.60	4.40	3.25	3.15	3.10	44.5	88.0
2.20	5.30	5.05	4.85	3.70	3.60	3.45	67.0	125.0
2.60	5.40	5.20	5.00	4.00	3.85	3.70	79.0	150.0
3.10	5.45	5.20	5.05	4.20	4.00	3.85	93.0	170.0
3.30	5.45	5.25	5.05	4.30	4.10	3.95	98.0	185.0
3.60	5.50	5.25	5.05	4.35	4.20	4.00	108.0	205.0
4.07	5.50	5.30	5.05	4.35	4.20	4.00	122.0	230.0

Математична обробка результатів експериментів за допомогою розробленої автором програми для ПЕОМ методом найменших квадратів дозволила одержати залежність для визначення лужності і концентрації іонів кальцію, які установлюються в замкнених охолоджувальних системах водопостачання і системах станів гарячої прокатки комбінату «Запоріжсталь» (2):

$$\text{Щ}_y = n_1 + \frac{n_2}{K_k^3}, \quad C_{\text{Ca}^{2+}} = n_4 e^{\frac{n_3}{K_k}} \quad (2)$$

де  $n_1$ ,  $n_2$ ,  $n_3$  і  $n_4$  - емпіричні коефіцієнти, які залежать від температури оборотної води  $t$  і визначаються за такими залежностями:

$$n_1 = 4.069 - 1.15t^2 \times 10^{-3}$$

$$n_2 = 16.925 - 3.206 \ln t$$

$$n_3 = -83.408 \times 3.283^t$$

$$n_4 = 295.137 \times t^{-1.287}$$

Виявлено, що лужність, яка буде в оборотній воді замкнених систем оборотного водопостачання комбінату «Запоріжсталь» при сталому режимі ( $\text{Щ}_y=5.05$  — 5.5 мг-екв/л), значно менше величини «порогової» лужності для інгібіруючої суміші полімеру ВПК-402 з триполіфосфатом натрію (ТПФН), що дозволяє рекомендувати цей метод для стабілізаційної обробки води при переводі охолоджуючих систем во-

допостачання і систем водопостачання станів гарячої прокатки комбінату на замкнений режим роботи.

Дослідження водно-хімічного режиму роботи систем водопостачання газоочисток доменного і мартенівського цехів комбінату «Запоріжсталь» показали, що для забезпечення їх нормальної експлуатації, яка виключає утворення щільних відкладень гіпсу, необхідно здійснювати продувку оборотної води цих систем у розмірі відповідно 0.5 % і 1.0 % від кількості циркулюючої в системі води. Продувочні води доцільно спрямовувати на споруди термічного пом'якшення.

Виходячи з досвіду експлуатації та досліджень систем промивання металу в травильних відділеннях, автором запропоновано рівняння водно-солевого балансу щодо цих систем в вигляді:

$$Q \Delta C_p + Q \Delta C_m + P C_n = P C_{o6} + P \alpha \Delta C_m + Q (1-\alpha) \Delta C_m \quad (3)$$

де  $Q$  - кількість води на промивання протравленого металу, м<sup>3</sup>/год;

$\Delta C_p$  - технологічний прирост розчинених солей, кг/м<sup>3</sup>.

$P = P_1 + P_2$  - кількість поповнюючої води, м<sup>3</sup>/год;

$P_1$  і  $P_2$  - відповідно втрати води зі шламом і при продувці системи, м<sup>3</sup>/год;

$C_{o6}$  і  $C_n$  - концентрації солей в оборотній та в поповнюючій воді, кг/м<sup>3</sup>;

$\Delta C_m$  - технологічний прирост сульфату кальцію, кг/м<sup>3</sup>;

$\alpha$  - коефіцієнт осадження сульфату кальцію.

З наведеного вище рівняння визначається мінімально необхідний розмір продувки, при якому виключається небезпека утворення відкладень гіпсу.

Часткового зменшення кількості продувочних вод можна досягнути, використовуючи метод магнетито-гіпсових затравок, розроблений в НПО «Енергосталь» і перевірений автором щодо водопостачання систем промивання протравленого металу комбінату «Запоріжсталь». Розрахунки (3) при використанні указанного методу показали, що мінімально припустимий розмір продувки складає 10-15 % (75 - 100 м<sup>3</sup>/год) від загальної кількості оборотної води.

В процесі виконання роботи обгрунтовано доцільність вилучення сульфату кальцію із продувочних вод методом термічного пом'якшення.

Обробка результатів лабораторних досліджень дозволила одержати математичні залежності для визначення основних параметрів роботи споруд двохступеневого термічного пом'якшення (4):

$$C_{1ct} = r_1 t^2 10^{-3} - r_2 t + r_3 \quad C_{2ct} = r_4 t^2 10^{-3} - r_5 t + r_6 \quad (4)$$

де  $C_{1ct}$  і  $C_{2ct}$  - концентрації сульфату кальцію в термом'якшеній воді відповідно після першого і другого ступенів, мг-екв/л;  $t$  - температура пом'якшення, °С;

$r_1, r_2, r_3, r_4, r_5,$  і  $r_6$  - емпіричні коефіцієнти, які залежать від висоти завислого шару контактної маси ангідриду сульфату кальцію та визначаються за такими залежностями:

$$r_1 = 0.00214 \times e^{1.963m}$$

$$r_2 = \frac{1.0552}{m - 1.0928}$$

$$r_3 = 98.214 + 219.363m^2$$

$$r_4 = \frac{1}{149.524m + 244.51}$$

$$r_5 = -\frac{2.271}{1.651 + m}$$

$$r_6 = 121.368 \times 0.582^m$$

де  $m$  - параметр, який дорівнює :

$$m = \frac{h}{H}$$

$h$  і  $H$  - відповідно висота завислого шару контактної маси та загальна робоча висота ступеня термопом'якшувача, м.

Одержані формули (4) дозволяють з достатньою для практики точністю визначити основні розміри апарату і кількість завислої контактної маси в залежності від кількості і складу води, необхідної глибини вилучення сульфату кальцію і обраної температури термічного пом'якшення. Відносна помилка не перевищує 5 - 10 %.

В п'ятому розділі на основі узагальнення наявного досвіду і результатів проведених досліджень сформульовано основні принципи створення замкнених систем оборотного водопостачання металургійних виробництв та підприємств у цілому і розроблено технічні рішення для переведення системи водопостачання комбінату «Запоріжсталь» на замкнений режим роботи, який виключає скид стічних вод в р. Дніпро. Балансову схему термічного пом'якшення нейтралізованих вапном промивних стічних вод сірчаноокислотного травління металу наведено на рис. 3. Вихідну воду, яка подається по трубопроводу 1; змішують з термопом'якшеною водою, яку подають по трубопроводу 2. Суміш підігрівують в теплообміннику 3, знов змішують з термопом'якшеною водою, яку подають по трубопроводу 4, і знову підігрівують в теплообміннику 5. Потім суміш спрямовують у деаератор 6, після чого насосом 8 суміш подають в термопом'якшувач 9, де воду змішують з парою, яку подають по трубопроводу 10, підігрівують до температури 145 - 150 °С, пропускають крізь завислий шар контактної маси ангідриду сульфату кальцію, відділяють від осаду і по трубопроводу 11 подають у випарник 7. З випарника пом'якшену воду подають по трубопроводу 12 послідовно в теплообмінники 5 і 3. Після кожного теплообмінника частину охолодженої термопом'якшеної води підмішують до вихідної води в кількості, яка забезпечує концентрацію сульфату кальцію нижче розчинності його півводної модифікації при максимальній температурі в теплообміннику. Охолоджену термопом'якшену воду по трубопроводу 13 повертають в технологічний цикл, а надлишок осаду з термопом'якшувача по трубопроводу 14 подають на переробку з метою його утилізації. Після змішування пом'якшеної води з оборотною температура води, яка направляється на промивання металу, складає 25 - 30 °С, що не перешкоджає використанню цієї води в технологічному циклі. Перевагою такої

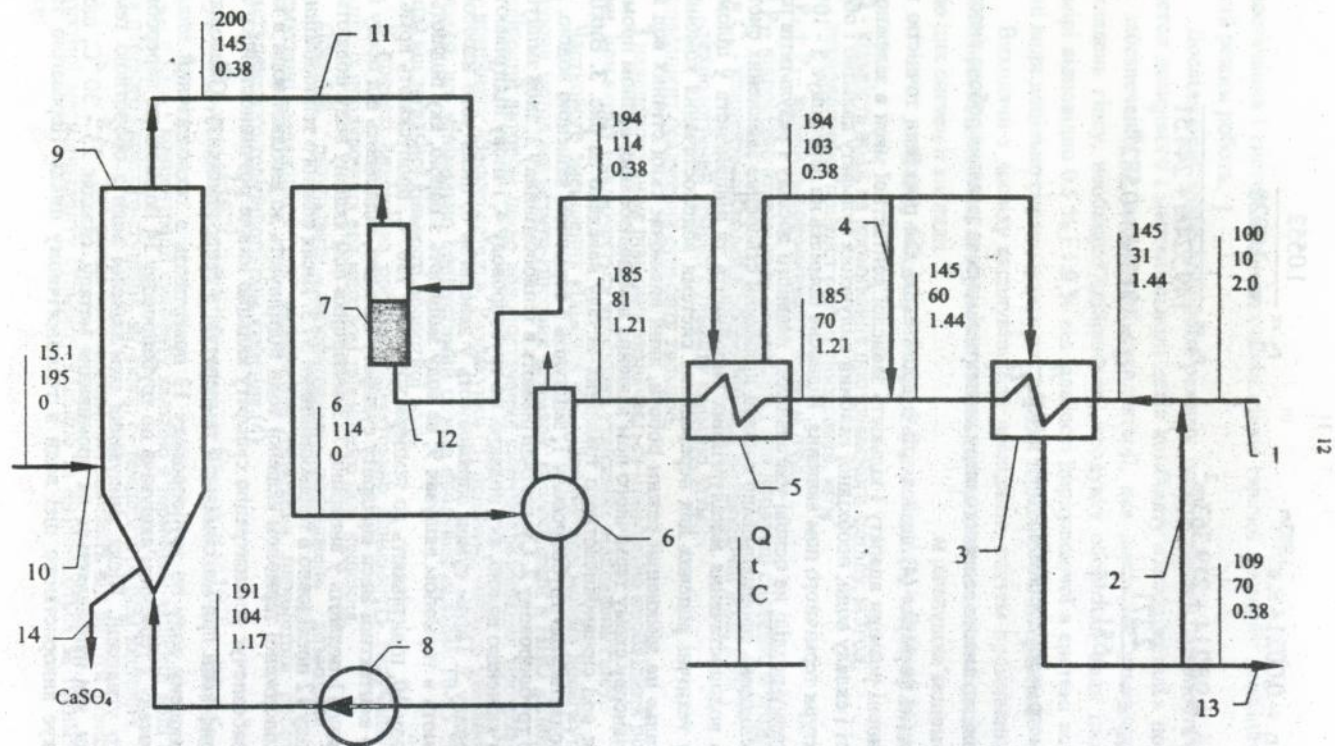


Рисунок 3 - Балансова схема термічного пом'якшення нейтралізованих вапном промивних вод сірчано-кислотних травильних відділень комбінату "Запоріжсталь"

Q - кількість, м³/год, t - температура, °C, C - концентрація сульфату кальцію, мг/л

схеми є також і те, що при цьому витрати пари на пом'якшення знижуються з 0.3 до 0.15 - 0.2 кг/м<sup>3</sup> пом'якшеної води, тобто майже в 2 рази. Виконано співставлення собівартості обробки 1 м<sup>3</sup> нейтралізованих стоків методом термічного пом'якшення і методом дистиляції (відповідно 2.16 і 3.77 грн/м<sup>3</sup>) і визначено економію річних експлуатаційних витрат, що дорівнює 846.81 тис. грн/рік.

Балансову схему водопостачання комбінату «Запоріжсталь» за існуючим станом і за розробленою схемою наведено на рис. 4.

Запропоновані технічні рішення впроваджені в галузеві норми проектування об'єктів водного господарства підприємств чорної металургії України.

### Загальні висновки

1. Система водопостачання комбінату «Запоріжсталь» працює в незамкненому режимі із скидом стічних вод, який досягає 20800 м<sup>3</sup>/год. Це призводить до неблагополучного екологічного стану Дніпра нижче випуску стічних вод і зумовлює доцільність переведення системи водопостачання комбінату «Запоріжсталь» на замкнений режим роботи. Визначено основні причини скиду стічних вод комбінату в р. Дніпро.
2. Розроблено методику розрахунку водного і сольового (матеріального) балансу замкнених систем оборотного водопостачання щодо комбінату «Запоріжсталь». За допомогою ПЕОМ розраховано водний і сольовий баланси як для існуючого, так і для прогнозованого режиму роботи основних систем оборотного водопостачання комбінату.
3. Встановлено, що при нагріванні води до 120 - 170 °С вміст сульфату кальцію знижується до 250 - 450 мг/л, що дозволяє спрямовувати цю воду на повторне використання в замкнених системах оборотного водопостачання травильних відділень сірчаноокислотного травлення металу без небезпеки утворення відкладень гіпсу.
4. Одержані результати експериментів визначають доцільність використання завислого шару кристалічної контактної маси у вигляді ангідриду сульфату кальцію, що дозволяє підвищити ефективність роботи термпом'якшувачів більш, ніж в два рази, та уникнути труднощів, пов'язаних з утворенням щільних гіпсових відкладень на внутрішніх поверхнях апарату.
5. Одержано експериментальні залежності, які дозволяють визначити величину бікарбонатної лужності і концентрацію кальцій-іонів, які будуть в охолоджувальній воді замкнених «умовно-чистих» систем оборотного водопостачання при сталому режимі.
6. Запропоновано рівняння, які характеризують водно-сольовий баланс систем водопостачання і дозволяють визначити мінімально припустимий розмір продувки систем промивання протравленого металу і газоочисток металургійних агрегатів.

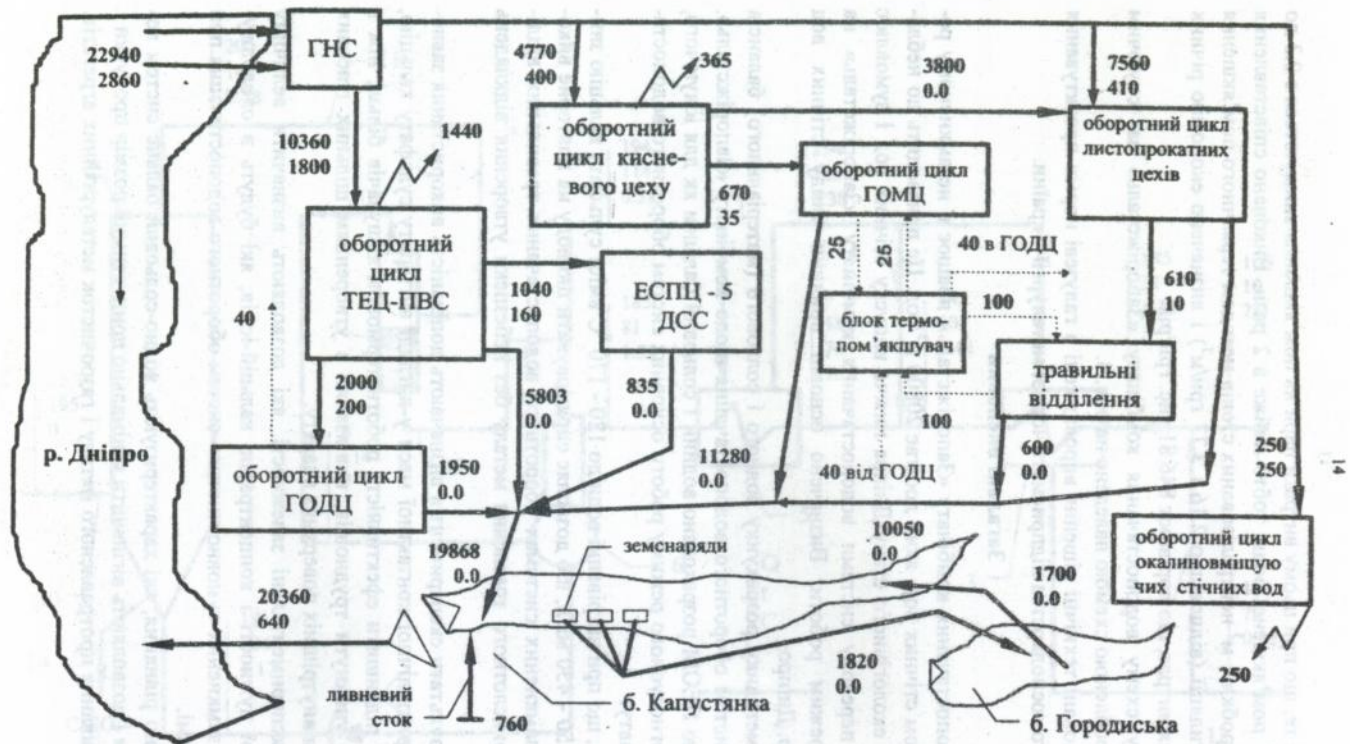


Рисунок 4 - Балансова схема водопостачання металургійного комбінату "Запоріжсталь"

Примітки:

1. В чисельнику - кількість води за існуючим станом, в знаменнику - за розробленою схемою, м<sup>3</sup>/год;
2. - сумарні втрати води в оборотному циклі, м<sup>3</sup>/год.
3. - витрати води за розробленою схемою, м<sup>3</sup>/год.

7. Показано, що для зниження концентрації сульфату кальцію в нейтралізованих вапном промивних стічних водах сірчанокислотного травлення, а також в продувочних водах газоочисток доменних і мартенівських цехів доцільно застосувати метод термічного пом'якшення.
8. Одержано експериментальні залежності, які дозволяють визначити основні розміри і параметри роботи споруд термічного пом'якшення для промивних стічних вод травильних відділень і продувочних вод газоочисток доменних і мартенівських цехів.
9. Сформульовано основні принципи створення замкнених систем оборотного водопостачання основних виробництв і підприємств чорної металургії в цілому.
10. За одержаними результатами досліджень і за узагальненням наявного досвіду експлуатації розроблено технічні рішення з приводу переведення системи оборотного водопостачання металургійного комбінату «Запоріжсталь» на замкнений режим роботи на базі локальних оборотних циклів зі шламонакопичувачем обмеженого об'єму, який виключає скид стічних вод в р. Дніпро. Ці рішення включені в галузеві норми проектування водного господарства підприємств чорної металургії України.
11. Визначено економію річних експлуатаційних витрат в замкнутій системі оборотного водопостачання травильних відділень комбінату «Запоріжсталь» (846.51 тис. грн/рік) і собівартість обробки 1 м<sup>3</sup> води методом термічного пом'якшення (2.16 грн/м<sup>3</sup>).

#### Список опублікованих праць за темою дисертації

1. Пантелят Г.С., Сыроватский А.А., Саковский В.Д. Совершенствование систем оборотного водоснабжения металлургических предприятий / Водоснабжение и санитарная техника. - 1996. - №8. - С.20-21.
2. Сыроватский А.А. Исследование кристаллизации сульфата кальция при термическом умягчении / Коммунальное хозяйство городов. - К.: Техника. - 1997. - Вып. 9. - С. 66-68.
3. Сыроватский А.А., Пантелят Г.С., Джахджах С. Исследование растворимости сульфата кальция в нейтрализованных промывных водах травильных отделений / Коммунальное хозяйство городов. - К.: Техника. - 1997. - Вып. 7. - С. 18-19.
4. Сыроватский А.А., Пантелят Г.С. О создании замкнутых систем оборотного водоснабжения / Сборник научных трудов Харьковского института социального прогресса. Харьков: Основа. - 1996. - Вып. 1. - С. 198 - 200.
5. Пантелят Г.С., Сыроватский А.А., Джахджах С. Балансовый расчет систем оборотного водоснабжения / Тезисы докладов 28-й научно-технической конференции Харьковской государственной академии городского хозяйства «Строительство и экология».- Харьков, 1996. - С. 36-37.

6. Пантелят Г.С., Сыроватский А.А. Анализ причин сброса сточных вод металлургических предприятий в р.Днепр /Тезисы докладов 50-й юбилейной научно-технической конференции "Повышение эффективности строительства".- Харьков, 1995.- С. 101-102.
7. Пантелят Г. С., Сыроватский А. А. Совершенствование систем оборотного водоснабжения машиностроительных и металлургических заводов /Информационный листок ИЛ № 170-95 .-Харьков, ХАРПТНЭИ, 1995.- С. 1-3.
8. Пантелят Г.С., Эпоян С.М., Сыроватский А.А., Титов А.А. Создание замкнутых систем оборотного водоснабжения основных металлургических производств /Информационный листок ИЛ № 174-95 .-Харьков, ХАРПТНЭИ, 1995.- С. 1-3.
9. Пантелят Г.С., Сыроватский А.А.Перевод систем водоснабжения металлургического комбината "Запорожсталь" на замкнутый режим работы /Информационный листок ИЛ № 181-95 .-Харьков, ХАРПТНЭИ, 1995.- С. 1-3.
10. Сыроватский А.А., Никулин С.Е., Джадждах С., Колотило А.Н. Использование засолоненных и морских вод для водоснабжения промышленных предприятий /Информационный листок ИЛ № 52-96 .-Харьков, ХАРПТНЭИ, 1995.- С. 1-3.

Сыроватський О.А. Замкнені системи оборотного водопостачання металургійних підприємств, розташованих на Дніпрі (на прикладі комбінату «Запоріжсталь»).- Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.04 - водопостачання, каналізація.- Харківський державний технічний університет будівництва і архітектури, Харків, 1997.

Дисертацію присвячено актуальній проблемі захисту р.Дніпро від забруднення стічними водами металургійних підприємств шляхом переведення систем водопостачання цих підприємств на замкнений режим роботи на прикладі металургійного комбінату «Запоріжсталь». В роботі одержано такі результати: розроблено новий метод термічного пом'якшення нейтралізованих вапном стічних промивних вод сірчаноокислотного травлення металу, а також продувочних вод газоочисток доменних і мартенівських цехів; запропоновано рівняння водно-солевого балансу для систем водопостачання травильних відділень та газоочисток металургійних агрегатів; одержано математичні залежності, які дозволяють визначити величину лужності і концентрацію іонів кальцію, які будуть в оборотній воді замкнених охолоджуючих систем водопостачання при сталому режимі, а також емпіричні формули для розрахунку основних розмірів та параметрів роботи термом'якшувачів. Розроблено технічні рішення для переведення системи оборотного водопостачання металургійного комбінату «Запоріжсталь» на замкнений режим роботи. Технічні рішення впроваджено в галузеві норми проектування водного господарства підприємств чорної металургії України.

*Ключові слова:* оборотне водопостачання, продувка, термічне пом'якшення води, лужність, завислий шар, контактна маса, шлам.

Сыроватский А.А. Замкнутые системы оборотного водоснабжения металлургических предприятий, расположенных на Днестре (на примере комбината «Запорожсталь»). - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.04 - водоснабжение, канализация. - Харьковский государственный технический университет строительства и архитектуры, Харьков, 1997.

Диссертация посвящена актуальной проблеме защиты р. Днестр от загрязнения сточными водами металлургических предприятий путем перевода систем водоснабжения этих предприятий на замкнутый режим работы на примере металлургического комбината «Запорожсталь». В работе получены следующие результаты: разработан новый метод термического умягчения нейтрализованных известью промывных вод сернокислотного травления, а также продувочных вод газоочисток доменного и мартеновского цехов; предложены уравнения водно-солевого баланса для систем оборотного водоснабжения травильных отделений и газоочисток металлургических агрегатов; получены математические зависимости, позволяющие определить величину щелочности и концентрацию ионов кальция в оборотной воде замкнутых охлаждающих систем водоснабжения, а также эмпирические формулы по расчету основных размеров и параметров работы термоумягчителей. Разработаны технические решения для перевода системы водоснабжения металлургического комбината «Запорожсталь» на замкнутый режим работы. Технические решения внедрены в отраслевые нормы проектирования водного хозяйства предприятий черной металлургии Украины.

*Ключевые слова:* оборотное водоснабжение, продувка, термическое умягчение, установившаяся щелочность, взвешенный слой, контактная масса, шлам.

Alexander A. Syrovatsky. Closed up system's of circulating water supply of ferrous metal industry centers disposed on the Dnieper (on the example of the group of enterprises «Zaporodgstal»). - A manuscript.

Thesis for a candidate's of sciences degree by speciality 05.23.04 - water supply, sewage.- Kharkov State Technical University of Construction and Architecture, Kharkov, 1997.

The thesis is devoted to the urgent problem of protection of the Dnieper from the pollution caused by the sewage of ferrous metal industry by the means of changing water supply systems of these enterprises into closed up work regime on the example of the metallurgical group of enterprises «Zaporodgstal». This dissertation contains such scientific results as the working up of the new thermal softening method of the sulphate lime-neutralized washed etching waters & blow-down waters of blast furnace & Martin gas-washer's departments; some water-salt balance equations are proposed for the water supply systems of the etched metal departments & gas-washers of metallurgical units; several equations are working up. They allow to distinguish the concentrations of bicarbonates & calcium-iones in circulating waters in cooling systems of water supply. Also some empirical formulae are worked out which help to calculate the main sizes & parameters of thermal softeners. Technical decisions for changing the water supply system of the metallurgical group of enterprises «Zaporodgstal» into the closed up regime is working up. These technical decisions are accepted into branch rates of projecting in the field of the water supply of Ukrainian ferrous metal industry.

*The key words:* circulating water supply, blow-down water, thermal softening, alcalynity, floating layer, contact mass, sediment.



434306

AB38732  
**AB 38.732**

---

Підписано до друку 16.10.97 р.  
Папір друк. № 2. Друк офсетний  
Об'єм 1 друк. арк.  
Безкоштовно

Формат паперу 60×84 1/16  
Обл.- друк. арк. - 0.95  
Зам. 22/210  
Тираж 100 прим.

---

Друкарня Харківського військового університету  
м. Харків, площа Свободи, 6