

Онищук О. О., к.т.н. (oksanaduda2013@gmail.com), **Кньовець А. М.**
(Волинський національний університет ім. Лесі Українки, м. Луцьк)

ОГЛЯД ОБЛАДНАННЯ ТА АГРЕГАТИВ ДЛЯ СИСТЕМ ТЕХНІЧНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА З ЦИРКУЛЯЦІЙНОЮ СИСТЕМОЮ ОХОЛОДЖЕННЯ

Наведено результати ознайомлення з обладнанням та агрегатами атомної електростанції для системи технічного водопостачання, в тому числі з циркуляційною системою охолодження. Встановлено, що при роботі чотирьох енергоблоків з метою економії додаткової води та реагентів на протинакипну обробку, а також враховано порівняно рівні витрати на її проведення різними методами, то найефективнішим є вапнування всього обсягу додаткової води з підкисленням сірчаною кислотою. Підтверджено, що для забезпечення безнакипного режиму, ефективної та надійної роботи теплообмінного обладнання необхідно проводити протинакипну обробку, а саме вапнування з коагуляцією або флокуляцією частини або всього об'єму додаткової води з подальшим очищенням на механічних фільтрах підкисленням і стабілізаційною обробкою. Встановлено, що збільшення концентрації та дози сірчаної кислоти для повного запобігання утворенню мінеральних відкладів неможливе через обмеження по ГДК кальцію та магнію, тому для більш якісної протинакипної обробки необхідно проводити пом'якшення додаткової води. Досліджено, що величина продування буде зменшуватися залежно від ступеня протинакипної обробки, максимальна її величина буде при комбінованій обробці підкисленням сірчаною кислотою та стабілізаційній обробці. У статті показано, що при застосуванні методу освітлення величина продування значно зменшиться і мінімальна її величина буде при 100% освітленні додаткової води. Виявлено, що з метою економії додаткової води та реагентів на протинакипну обробку, а також враховуючи порівняно рівні витрати на її проведення різними методами, необхідно проводити вапнування всього обсягу додаткової води з підкисленням сірчаною кислотою.

Ключові слова: водопровідна вода; методики; циркуляційна

система охолодження; вапнування; фільтри; водопостачання.

Вступ та актуальність роботи. В сучасних умовах проблема забезпечення доброякісною водою стає все більш актуальною. Якість води визначається багатьма факторами: природою джерела, регіональними особливостями ґрунтових порід і мінералів, ефективними методами очищення та знезараження. Якість води – характеристика складу і властивостей води, яка визначає придатність її для конкретних видів водокористування. Говорячи про якість вод, мають на увазі їх стан. Критерії якості води – це характеристики складу і властивостей води, що визначають придатність її для конкретних видів водокористування [1–4].

Від багатьох агрегатів атомної електростанції, як основних, так і допоміжних, а також з окремих приміщень необхідно відводити в навколишнє повітря велику кількість теплоти. Для того, щоб охолоджуючі поверхні і пристрої в межах головного корпусу були компактними, як проміжне охолоджувальне середовище для обладнання і приміщень головного корпусу використовують технічну воду, яку потім охолоджують поза головним корпусом. Система технічного водопостачання – це система гідротехнічних споруд і трубопроводів, що забезпечує подачу охолоджувальної та технічної води в конденсатори та інше теплообмінне обладнання. Система технічного водопостачання, що забезпечує даних споживачів охолоджувальної водою, називається циркуляційної системою. Циркуляційна система охолодження, яка застосовується на Рівненській АЕС, що передбачає багаторазове використання води, називається оборотною, технічна вода циркулює за замкненою схемою з охолодженням на штучних охолоджувачах: у водосховищі, градирнях, бризкальних пристроях. З річки здійснюється лише підживлення системи, необхідне заповнення безповоротних втрат із неї. Для поповнення безповоротних втрат технічної води в систему технічного водопостачання відповідальних споживачів існує допоміжна система – система додаткової води. Її основне призначення – це поповнення безповоротних втрат техводи (випаровування, винесення, фільтрація, продування, різні протікання) в СТВ. Оборотна система охолодження є одним з важливих елементів теплової схеми електростанції і служить для ефективного відведення тепла від теплообмінників (конденсаторів (до 90%), маслоохолоджувачів та ін.) Система додаткової води

призначена для поповнення безповоротних втрат води із СТВ та забезпечення технічною водою інших споживачів, а також для первинного заповнення системи техводопостачання.

Циркуляція води у системі енергоблоків № 1, 2 (№ 3) здійснюється в такий спосіб. З водоприймального ковша БНС-1 (БНС-2) циркуляційними насосами вода, що охолоджує, подається в машинне відділення (перший підйом). Після підігріву на конденсаторах циркуляційна вода по зливних трубопроводах потрапляє в закритий канал, що відводить, куди також зливається технічна вода після підігріву на інших теплообмінниках машинного відділення.

На Рівненській АЕС в експлуатації перебувають чотири енергоблоки [5]. Блоки № 1–2 потужністю по 440 МВт із двома турбінами К-220-44/3000 ХТЗ. Блоки № 3–4 потужністю по 1000 МВт із турбінами К-1000-60/3000 ЛМЗ. Окремі системи технічної води називають загальною назвою – системою технічного водопостачання (СТВ). Так, в СТВ РАЕС входять наступні системи: циркуляційна система; система техводопостачання відповідальних споживачів (СТВ ВС); система техводопостачання невідповідальних споживачів (СТВ НС). А для поповнення безповоротних втрат техводи в СТВ існує допоміжна система – система додаткової води. Її основне призначення – це поповнення безповоротних втрат техводи (випаровування, винесення, фільтрація, продування, різні протікання) в СТВ, а також постачання техводою інших споживачів (бетонний завод, пожежна система бл. № 1, 2, ХВО, теплиці та ін.) Система технічного водопостачання призначена для забезпечення охолоджуючою водою конденсаторів та інших теплообмінників систем РАЕС. Система технічного водопостачання – це система гідротехнічних споруд і трубопроводів, що забезпечує подачу охолоджувальної та технічної води в конденсатори та інше теплообмінне обладнання.

Часові витрати в системі технічного водопостачання найбільшою мірою визначаються потребою в охолоджуючій воді конденсаційної установки (до 90%). Крім конденсаторів турбін, споживачами охолоджувальної води на АЕС є: маслоохолоджувачі і газоохолоджувачі турбогенераторів; підшипники насосів та інші теплообмінники машзалу. Система технічного водопостачання, що забезпечує цих споживачів охолоджувальною водою, називається циркуляційною системою. Циркуляційна система охолодження, яка

застосовується на Рівненській АЕС, що передбачає багаторазове використання води, називається оборотною, технічна вода циркулює за замкненою схемою з охолодженням на штучних охолоджувачах: у водосховищі, градирнях, бризкальних пристроях. З річки здійснюється лише підживлення системи, необхідне заповнення безповоротних втрат із неї. Оборотна система з охолодженням води на градирнях (бризкальних басейнах) застосовується, коли джерело водопостачання не може забезпечити необхідного відбору води, а також у разі значної віддаленості площадки електростанції або перевищення її над горизонтом води. Переваги – у 200–300 разів підвищується питоме навантаження і відповідно зменшуються площі, недоліки – великі витрати на будівництво та експлуатацію, а також додаткові витрати електроенергії на власні потреби затраченої на додатковий підйом технічної води на охолоджувач. Оборотна система охолодження є одним з важливих елементів теплової схеми електростанції і служить для ефективного відведення тепла від теплообмінників (конденсаторів (до 90%), маслоохолоджувачів та ін.).

Мета роботи. Дослідити та ознайомитися з обладнанням та агрегатами атомної електростанції для системи технічного водопостачання, в тому числі з циркуляційною системою охолодження.

Виклад основного матеріалу. Склад системи та робота обладнання. Система технічного водопостачання є оборотною з охолодженням циркуляційної води у баштових градирнях. Під час ознайомлення ми розглянули, що в експлуатації знаходяться шість однотипних градирень (№ 1–6) площею зрошення по 100000 м² кожна. З машинним залом градирня з'єднана напірними лініями та водопідвідними самопливними каналами. Між градирнями передбачають перемички та перемикальний колодязь для ремонту однієї з градирень. У кожній градирні є можливість відключення однієї з її половинок для ремонту. Система додаткової води призначена для поповнення безповоротних втрат води із СТВ та забезпечення технічною водою інших споживачів, а також для первинного заповнення системи техводопостачання. Циркуляційна система охолодження I черги АЕС (енергоблоки № 1, 2, 3) – оборотна, з охолодженням води на баштових градирнях (чотири градирні). Схематичний поздовжній розріз споруд схеми циркуляційного водопостачання показаний на рисунку 1. Система охолодження

загальна для всіх енергоблоків та виконана за двопідйомною схемою, представлена на рисунку 2.

Циркуляція води у системі енергоблоків № 1, 2 (№ 3) здійснюється в такий спосіб. З водоприймального ковша БНС-1 (БНС-2) циркуляційними насосами вода, що охолоджує, подається в машинне відділення (перший підйом).

Після підігріву на конденсаторах циркуляційна вода по зливних трубопроводах потрапляє в закритий канал, що відводить, куди також зливається технічна вода після підігріву на інших теплообмінниках машинного відділення. Закритий канал, що відводить, служить для відведення нагрітої циркуляційної води у водопідвідний ківш градирень.

З водопідвідного ковша градирень нагріта вода, потрапляє на всмоктування насосів градирень (другий підйом). Далі вода насосами градирень по напірних водоводах подається на градирні. Для кожного насоса градирні виконаний свій напірний водовід, яким він може подавати воду для охолодження тільки на свою половину градирні. Підживлення системи проводиться водою із річки Стир від НДВ і може здійснюватися із СЦВ бл. 4.

Циркуляційна система охолодження II черги РАЕС, зокрема енергоблок № 4, є оборотною, двопідйомною з охолодженням води на баштових градирнях продуктивністю по 100000 м³/год (дві градирні). Система відокремлена від першої черги АЕС і, на відміну від неї, виконана без відкритих водоприймальних ковшів, як представлено на рисунку 1. Циркуляція води в системі енергоблоку № 4 здійснюється наступним чином: насоси БНС забирають воду з аванкамери і по напірних водоводах подають її в головний корпус на конденсатори турбіни, конденсатори турбоживильних насосів (ТЖН) та допоміжне обладнання. Після теплообмінників нагріта вода під залишковим напором надходить по трубопроводах в аванкамеру НСГ, насоси якої подають її на водорозподільні пристрої градирень.

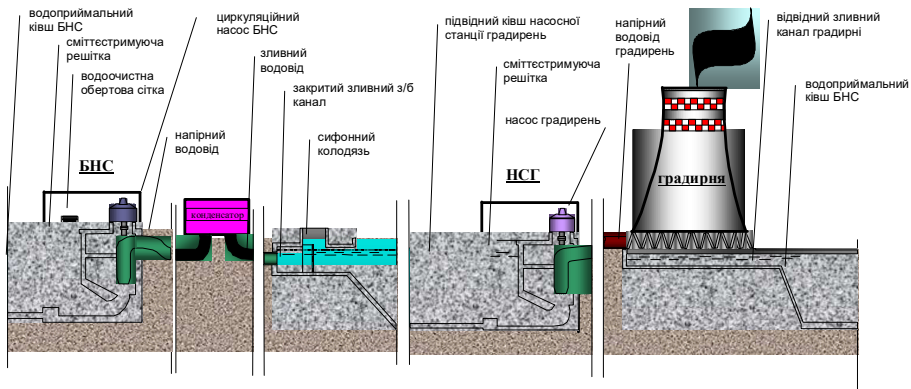


Рис. 1. Схематичний поздовжній розріз споруд схеми циркуляційного водопостачання

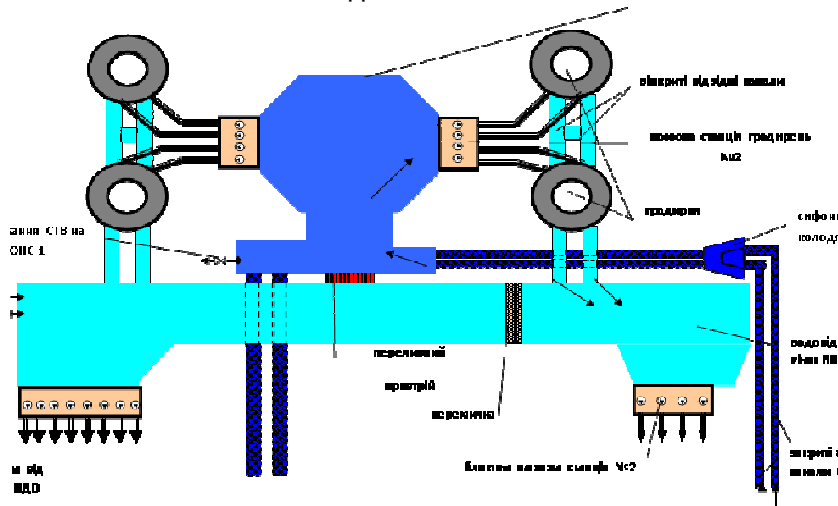


Рис. 2. План-схема циркуляційного водопостачання енергоблоку № 1-3

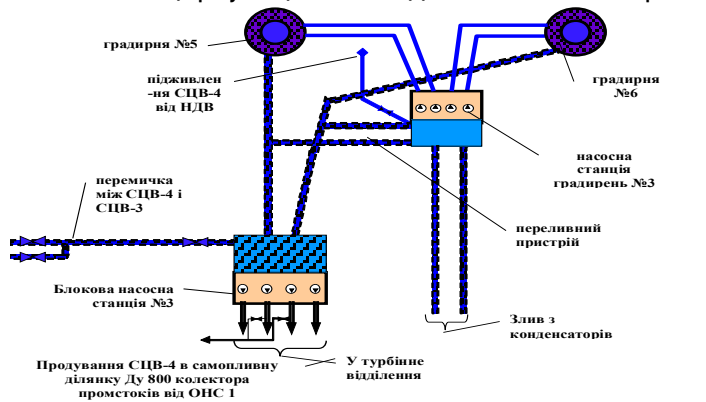


Рис. 3. План-схема циркуляційної системи енергоблоку № 4

Для поповнення втрат води із системи на р. Стир встановлено насосну станцію додаткової води (НДВ) з безплотинним водозабором (рис. 4). Водозабірний ківш з електроградієнтною рибозахисною греблею служить для підведення води на всмоктування насосів НДВ. У муловідстійнику за рахунок зменшення швидкості водного потоку відбувається осадження зважених частинок, які надалі забираються з дна за допомогою несамохідного плавучого земснаряда.

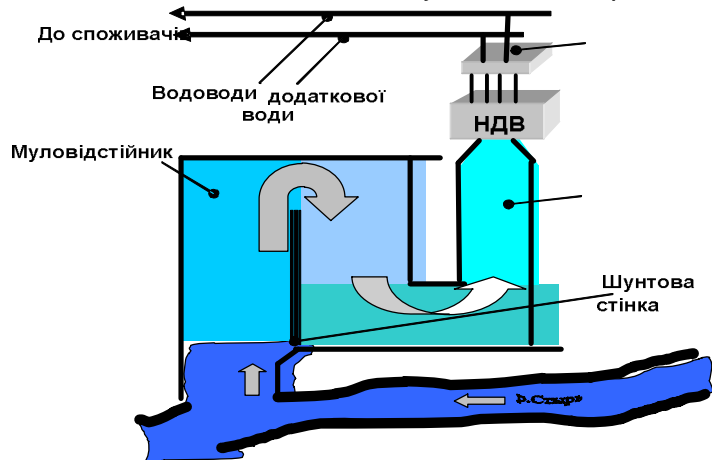


Рис. 4. Система додаткової води

У приміщенні насосної додаткової води розташовані насоси додаткової води. У камері перемикачів розташована арматура, за допомогою якої можна подавати воду від будь-якого насоса по двох водоводах додаткової води. Водоводи додаткової води служать для подачі води від НДВ до споживачів. Тип – напірні, матеріал – ВСТЗсп5, кількість – 2 шт., пропускна спроможність – $1,65 \text{ м}^3/\text{с}$. Максимальний проєктний забір води становить $3,6 \text{ м}^3/\text{с}$ ($12\,960 \text{ м}^3/\text{год}$). З пуском в експлуатацію енергоблока № 4 введено в роботу споруди з очищення доданої води (СОДВ). Вода від НДВ подається на СОДВ для очищення і, після очищення, водоводами додаткової води до споживачів. На цьому етапі виконано схему для розведення продувної води додатковою водою від двох водоводів НДВ для зменшення забруднення річки Стир.

Баки проміжні УС10В16 призначено для створення запасу вапново-флокульованої (коагульованої) води. Проміжний бак є сталеву циліндричною ємністю. Підведення і відведення освітленої води виконане в нижній частині ємності. Зовнішній вигляд ряду проміжних баків СОДВ показаний на рисунку 5. Мішалка вапняного

молока UC22B01, з перемішувачим пристроєм, призначена для перемішування вапняного молока та перешкоджає осадженню суспензії вапна. Зовнішній вигляд баків-мірників коагулянту, флокулянту та бак-мішалок вапняного молока надано на рисунку 5. Змішувачі кислоти представлені на рисунку 6. Система лінії зневоднення шламу споруд очищення добавленої води призначена для приймання шламу, який надходить з існуючої системи збору шламу з освітлювачів, з подальшим зневодненням до залишкової вологості.

Збір зневодненого шламу передбачається в проміжному приміщенні для подальшого транспортування його на шламонакопичувач, за допомогою автомобільного транспорту для складування. Проектом передбачено можливість подальшого вилучення шламу для відправки споживачам в процесі експлуатації шламонакопичувача [6–8].



Рис. 5. Зовнішній вигляд баків-мірників коагулянту, флокулянту та бак-мішалок вапняного молока



Рис. 6. Змішувачі кислоти СОДВ. Лінія зневоднення шламу споруд очищення добавленої води

Результати. Для забезпечення безнакипного режиму, ефективної та надійної роботи теплообмінного обладнання необхідно проводити протинакипну обробку. Одним з варіантів такої обробки є вапнування з коагуляцією або флокуляцією частини або всього об'єму додаткової води з подальшим очищенням на механічних фільтрах підкисленням і стабілізаційною обробкою. Сутність зазначеного методу у тому, що за допомогою вапна відбувається осадження бікарбонатів з утворенням карбонату кальцію. Якщо ведеться гідратний режим вапнування, також осаджуються практично повністю і солі магнію. При вапнуванні відбувається зменшення концентрацій кальцію, магнію.

Збільшення концентрації ОЕДФК та дози сірчаної кислоти для повного запобігання утворенню мінеральних відкладень неможливе через обмеження по ГДК зазначених реагентів. Для більш якісної протинакипної обробки необхідно проводити пом'якшення додаткової води. Відповідно до проєкту на Рівненській АЕС введено в дію споруди очищення доданої води (СОДВ) потужністю 8350 м³/год, які передбачають проведення протинакипної обробки додаткової води за схемою: – вапнування з коагуляцією та флокуляцією, – очищення на механічних фільтрах, – підкислення сірчаною кислотою та стабілізаційна обробка води ОЕДФК.

Сутність протинакипної обробки методом підкислення полягає в переведенні частини карбонатної жорсткості до постійної з розрахунку неперевищення після упарювання величини гранично допустимої карбонатної жорсткості. При проведенні зазначеної обробки відбувається збільшення постійної жорсткості та концентрації сульфатів. Відповідно до ПТЕ через недопущення перечислення, підкислення можна проводити до досягнення величини залишкової карбонатної жорсткості в підживлювальній воді не нижче 0,5 мг-екв/дм².

Сутність стабілізаційної обробки охолоджуючої води полікомплексонами (в даному випадку ОЕДФК) полягає у стабілізації карбонатної жорсткості до певної межі. Величина карбонатної жорсткості, що стабілізується, залежить від концентрації реагенту в охолоджувальній воді. При гранично допустимій концентрації ОЕДФК відповідно до вимог охорони навколишнього середовища, що дорівнює 0,817 мг/дм³, гранично допустима величина карбонатної жорсткості дорівнюватиме 5,5 мг-екв/дм³.

Величина продування буде зменшуватися залежно від ступеня протинакипної обробки. Максимальна її величина буде при комбінованій обробці підкисленням сірчаною кислотою та стабілізаційній обробці ОЕДФК. При застосуванні методу освітлення величина продування значно зменшиться і мінімальна її величина буде при 100% освітленні додаткової води.

При роботі чотирьох енергоблоків з метою економії додаткової води та реагентів на протинакипну обробку, а також враховуючи порівняно рівні витрати на її проведення різними методами, необхідно проводити вапнування всього обсягу додаткової води з підкисленням сірчаною кислотою.

Висновок. Отже, встановлено, що при роботі чотирьох енергоблоків з метою економії додаткової води та реагентів на протинакипну обробку, а також враховуючи порівняно рівні витрати на її проведення різними методами, необхідно проводити вапнування всього обсягу додаткової води з підкисленням сірчаною кислотою.

Підтверджено, що для забезпечення безнакипного режиму, ефективної та надійної роботи теплообмінного обладнання необхідно проводити протинакипну обробку, а саме вапнування з коагуляцією або флокуляцією частини або всього об'єму додаткової води з подальшим очищенням на механічних фільтрах підкисленням і стабілізаційною обробкою.

Таким чином, в цілому ми розглянули обладнання та агрегати атомної електростанції для системи технічного водопостачання, в тому числі з циркуляційною системою охолодження.

1. ДСТУ 7525:2014. Вода питна. Потреби та методи контролю якості. **2.** ДСТУ 18309-2014. Вода. Методи визначення фосфор містких речовин. **3.** Способ определения фосфора в воде: пат. 2024866 РФ. № 4944041/04; заявл. 10.06.1991; опубл. 15.12.1994. **4.** Кульский Л. А. Теоретические основы и технологии кондиционирования воды. К. : Наук. думка, 1983. 560 с. **5.** Кульский Л. А., Строкач П. П. Технология очистки природных вод. К. : Вища шк., 1986. 352 с. **6.** Кульский Л. А. Основы химии и технологии воды. К. : Наук. думка, 1991. 568 с. **7.** Руденко Г. Г., Гороновский И. Т. Удаление примесей из природных вод на водопроводных станциях. К. : Будівельник, 1976. 205 с. **8.** Физико-химические методы очистки воды. Управление водными ресурсами / под ред. И. М. Астрелина, Х. Ратнавирь. К. : Проект «Водная гармония», 2015. 614 с. **9.** Запольський А. К. Водопостачання, водовідведення та якість води. К. : Вища школа, 2005. 671 с. **10.** Тугай А. М.,

Орлов В. О. Водопостачання. Рівне : РДТУ, 2001. 429 с. **11.** Крамаренко Л. В. Технологія очищення природних вод : навч. посіб. Харків : ХНАМГ, 2008. 145 с. **12.** Теоретические основы очистки воды : уч. пособ. / Н. И. Куликов, А. Я. Найманов и др. Макеевка : ДГАСА, 1999. 277 с. **13.** Загальна хімічна технологія : підруч. для студентів вищих навч. закл. / В. Т. Яворський, Т. В. Перекупко, З. О. Знак, Л. В. Савчук. Львів : Національний університет «Львівська політехніка», 2005. 552 с.

REFERENCES:

1. DSTU 7525:2014. Voda pytna. Potreby ta metody kontroliu yakosti. **2.** DSTU 18309-2014. Voda. Metody vyznachennia fosfor mistkykh rehovyn. **3.** Sposob opredeleniya fosfora v vode: pat. 2024866 RF. № 4944041/04; zayavl. 10.06.1991; opubl. 15.12.1994. **4.** Kulskiy L. A. Teoreticheskie osnovy i tehnologii konditsionirovaniya vodyi. K. : Nauk. dumka, 1983. 560 s. **5.** Kulskiy L. A., Strokach P. P. Tehnologiya ochistki prirodnyih vod. K. : Vischa shk., 1986. 352 s. **6.** Kulskiy L. A. Osnovyi himii i tehnologii vodyi. K. : Nauk. dumka, 1991. 568 s. **7.** Rudenko G. G., Goronovskiy I. T. Udalenie primesey iz prirodnyih vod na vodoprovodnyih stantsiyah. K. : Budivelnyk, 1976. 205 s. **8.** Fiziko-himicheskie metody ochistki vody. Upravlenie vodnymiyimi resursami / pod red. I. M. Astrelina, H. Ratnaviryi. K. : Proekt «Vodnaya garmoniya», 2015. 614 s. **9.** Zapol'skiy A. K. Vodopostachannia, vodovidvedennia ta yakist vody. K. : Vyshcha shkola, 2005. 671 s. **10.** Tuhai A. M., Orlov V. O. Vodopostachannia. Rivne : RDTU, 2001. 429 s. **11.** Kramarenko L. V. Tekhnolohiia ochyshchennia pryrodnykh vod : navch. posib. Kharkiv : KhNAMH, 2008. 145 s. **12.** Teoreticheskie osnovy ochistki vodyi : uch. posob. / N. I. Kulikov, A. Ya. Naymanov i dr. Makeevka : DGASA, 1999. 277 s. **13.** Zahalna khimichna tekhnolohiia : pidruch. dlia studentiv vyshchykh navch. zakl. / V. T. Yavorskyi, T. V. Perekupko, Z. O. Znak, L. V. Savchuk. Lviv : Natsionalnyi universytet «Lvivska politekhnik», 2005. 552 s.

Onyshchuk O. O., Candidate of Engineering (Ph.D.)

(oksanaduda2013@gmail.com), **Knovets A. M.** (Lesya Ukrainka Volyn National University, Lutsk)

OVERVIEW OF EQUIPMENT AND UNITS FOR TECHNICAL WATER SUPPLY SYSTEMS AND CIRCULATING COOLING SYSTEMS

It was resulted familiarization with the equipment and aggregates of the nuclear power plant for the technical water supply

system, including the circulating cooling system, are given.

It was established that when operating four power units in order to save additional water and reagents for anti-scale treatment, as well as taking into account the relatively equal costs of its implementation by different methods, the most effective is the liming of the entire volume of additional water with acidification with sulfuric acid. It was confirmed that in order to ensure a scale-free regime, efficient and reliable operation of heat exchange equipment, it is necessary to carry out anti-scale treatment, namely liming with coagulation or flocculation of part or the entire volume of additional water with subsequent cleaning on mechanical filters by acidification and stabilization treatment. It was established that increasing the concentration and the dose of sulfuric acid to completely prevent the formation of mineral deposits is not possible due to the limitation of the MPC of the calcium and magnesium, therefore, for better anti-scale treatment, it is necessary to soften the additional water. It was studied that the amount of blowing will decrease depending on the degree of anti-scale treatment, its maximum amount will be in the case of combined treatment with acidification with sulfuric acid and stabilization treatment. In article it was showed that when applying the lighting method, the amount of blowing will be significantly reduced and its minimum value will be at 100% illumination of additional water. It was found that in order to save additional water and reagents for anti-scale treatment, as well as taking into account the relatively equal costs of its implementation by various methods, it is necessary to carry out liming of the entire volume of additional water with acidification with sulfuric acid.

Keywords: tap water; methods; cooling circulation system; liming; filters; water supply.
