

УДК 621.311.25:504.453

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.1-58.40>

ОЦІНКА СКЛАДУ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗАВИСЛИХ РЕЧОВИН ПРИ ФОРМУВАННІ ВОДНОГО СКИДУ ЗВОРОТНИХ ВОД ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Кузнєцов П.М., Бєдункова О.О.

Національний університет водного господарства та природокористування
вул. Соборна, 11, 33028, м. Рівне
p.m.kuznietsov@nuwm.edu.ua, o.o.biedunkova@nuwm.edu.ua

Атомні електростанції (АЕС) широко використовують оборотні системи охолодження (ОСО), де вода багатократно циркулює, відводячи теплове навантаження в атмосферу через градирні або у водойми. В процесі експлуатації ОСО утворюються завислі речовини (ЗР), що негативно впливають на ефективність теплообміну обладнання. Ефекти впливу ЗР на природні водні об'єкти (ПВО) включають фізичні, хімічні та біологічні ефекти впливу, що обумовлено факторами: концентрації, тривалість впливу та хімічним і гранулометричним складом ЗР. ЗР у ПВО поділяються на органічні та мінеральні складники, а їх концентрація прямо впливає на каламутність і прозорість води. Методи водопідготовки, такі як вапнування, дозволяють знизити утворення накипу в ОСО, але призводять до зміни хімічного складу води та збільшення концентрації ЗР.

Метою дослідження було визначення закономірностей формування хімічного та гранулометричного складу ЗР, їх седиментаційної стійкості та впливу на екологічні показники скидних зворотних вод (СЗВ). Об'єктом дослідження є ЗР вод річки Стир та ОСО Рівненської АЕС (РАЕС). Завданнями дослідження було визначити хімічний та гранулометричний склад ЗР, дослідити вплив вапнування на склад ЗР та їх осаджувані властивості, оцінити швидкість седиментації ЗР у тракті ОСО, визначити рівень впливу ЗР у СЗВ на якість ПВО.

Було проведено комплексний аналіз води річки Стир та ОСО РАЕС, який включав хімічний та гранулометричний аналіз, мікроскопіювання ЗР, а також оцінку седиментаційних характеристик ЗР. Результати показують, що вапнування збільшує вміст ЗР до 70% і змінює їх хімічний склад, знижуючи частку органічних речовин і кремнію, але збільшуючи вміст кальцієвих сполук. У тракті ОСО спостерігається агломерація ЗР, що сприяє їх седиментації. СЗВ містять ЗР, максимальна фракція яких сягає 120–150 мкм, час осадження варіює в межах від 50 до 120 хв. Вода річки Стир після скиду СЗВ відповідає екологічним нормативам, а її екологічна якість за значенням концентрації ЗР класифікується як II клас, 2 категорії та за станом є «добрі» і за чистотою є «дуже добрі». Це свідчить про мінімальний вплив СЗВ ОСО на стан ПВО. Отримані дані дозволяють оптимізувати ефективність ОСО, мінімізуючи екологічні ризики водного скиду для ПВО. *Ключові слова:* завислі речовини (ЗР), оборотні системи охолодження (ОСО), якість води, скидні зворотні води (СЗВ), природні водні об'єкти (ПВО).

Assessment of the composition and properties of suspended solids in the formation of water discharge of power plant wastewater. Kuznietsov P., Biedunkova O.

Nuclear power plants (NPP) extensively utilise recirculating cooling systems (RCS), wherein water is repeatedly circulated, thereby extracting heat load from the atmosphere through cooling towers or into water bodies. During the operation of the RCS, suspended solids (SS) are formed, which have a detrimental effect on the efficiency of heat exchange of the equipment. The impact of SS on natural water bodies (NWB) encompasses physical, chemical, and biological effects, which are influenced by the following factors: concentration, duration of exposure, and the chemical and particle size distribution of the SS. The SS in the NWB are categorised into organic and mineral components, and their concentration directly affects the turbidity and transparency of water. Water treatment methods, such as liming, have been shown to reduce scale formation in RCS; however, they can also lead to alterations in the chemical composition of water and an increase in the concentration of SS.

The objective of the present study was to ascertain the patterns of formation of the chemical and particle size distribution of AS, their sedimentation stability, and their impact on the environmental parameters of wastewater discharge (WWD). The subject of the study is the SS of the Styr River and the Rivne NPP (RNPP) effluent. The objectives of the study were threefold: firstly, to determine the chemical and particle size distribution of the SS; secondly, to investigate the effect of liming on the SS composition and its settling properties; thirdly, to assess the SS sedimentation rate in the RCS pathway; and finally, to determine the level of SS impact on the quality of the NWB.

A comprehensive analysis of the water of the Styr River and RNPP RSC was carried out, including chemical and particle size analysis, microscopy of the SS, and assessment of the sedimentation characteristics of the SS. The results show that liming increases the content of SS up to 70% and changes its chemical composition, reducing the proportion of organic matter and silicon, but increasing the content of calcium compounds. Agglomeration of SS is observed in the OSO tract, which contributes to their sedimentation. RSC contains SS with a maximum fraction of 120-150 µm, and the time of deposition varies from 50 to 120 minutes. The water of the Styr River after discharge of WWD meets environmental standards, and its environmental quality is classified as Class II, Category 2, and is 'good' in terms of the concentration of SS and 'very good' in terms of its condition and purity. This indicates a minimal impact of the RSC WWD on the state of NWB. The obtained data allow optimising the efficiency of the RSC, minimising the environmental risks of water discharge for NWB. *Key words:* suspended solids (SS), recirculating cooling systems (RCS), water quality, wastewater discharge (WWD), natural water bodies (NWB).

Постановка проблеми. Оборотні системи охолодження (ОСО) атомних електростанцій (АЕС) є ключовим елементом у забезпеченні їхньої безпечної та ефективної експлуатації. В процесі роботи ОСО у воді накопичуються завислі речовини (ЗР), що утворюються внаслідок хімічних процесів водопідготовки та технологічних процесів експлуатації. Підвищена концентрація ЗР у технологічних водах ОСО спричиняє забруднення теплообмінного обладнання та впливає на екологічні показники якості скидних зворотних вод (СЗВ). *Метою роботи є* встановлення закономірностей формування гранулометричного та хімічного складу ЗР, що утворюються внаслідок вапнування води для ОСО Рівненської АЕС (РАЕС), оцінка їх седиментаційної стійкості та впливу на якість СЗВ. Досягнення мети передбачало вирішення ряду завдань щодо відстеження характеристик ЗР у складі скидних зворотних вод РАЕС (рис. 1).

Термін ЗР означає масу (мг) або концентрацію (мг/дм³) неорганічної та органічної речовини, яка утримується у товщі води водного об'єкту [1]. Усі потоки природних водних об'єктів (ПВО) несуть деяку кількість ЗР, які відіграють важливу роль у функціюванні екосистеми ПВО [2]. Незважаючи на те, що ЗР є невід'ємною частиною ПВО, їх наявність пов'язана з низкою проблем [3]. Якщо концентрація ЗР підвищуються через антропогенні чинники це може призводити до змін фізичних, хімічних і біологічних властивостей ПВО [4, 5].

Актуальність дослідження. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю визначення характеристик ЗР СЗВ та пошуком рішень щодо мінімізації їх впливу ЗР СЗВ на навколишнє середовище в умовах зростаючих вимог до екологічної безпеки енергетичної галузі.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження сприяє розробці нових методів контролю складу та властивостей ЗР і зменшення екологічного навантаження на довкілля.

Аналіз останніх досліджень. У технологічному циклі ОСО вода використовується багаторазово, теплові навантаження викидаються в атмосферу через градирні, а СЗВ відводиться до ПВО [6]. Внаслідок концентрування розчинених сполук в охолоджуючій воді ОСО спостерігається утворення нерозчинних сполук ЗР [7]. Як показник якості вод ЗР характеризує кількість нерозчинних сполук, що затримуються на паперовому фільтрі («синя стрічка») при фільтруванні проби та пропорційно зв'язана з іншими гідрофізичними показниками: прозорість та. За походженням ЗР водойм можуть бути природними і техногенними [8], а в ПВО ЗР поділяються на дві групи: мінерального і органічного походження [9]. Ефекти впливу ЗР на ПВО включають фізичні, хімічні та біологічні ефекти впливу, що обумовлено факторами: концентрації, тривалості впливу та хімічним і гранулометричним складом ЗР (рис. 2).

Величина впливу ЗР на водні організми загалом зростає зі збільшенням концентрації [10]. Крім того, вплив концентрацій ЗР має різні ефекти залежно від сезону, тривалості дії та стану самих організмів. Наприклад, потоки ЗР, матимуть більш значний вплив на рибу в період нересту, і навпаки, потоки ЗР матимуть менший вплив на риб у період спокою зимою [11]. Хімічний склад ЗР у ПВО є важливим фактором, оскільки визначає їх токсичність. Наразі хімічний склад ЗР залишається фактором, який не враховується при розробці рекоменда-



Рис. 1. Мета, завдання, об'єкт та предмет дослідження

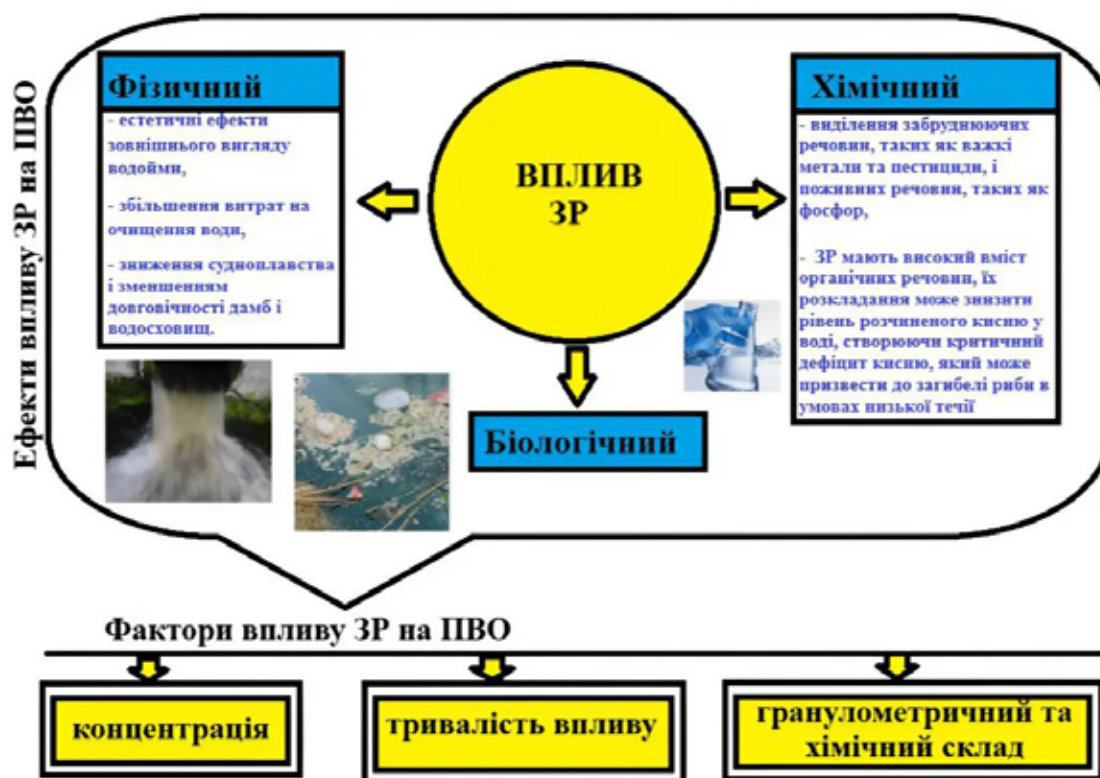


Рис. 2. Ефекти та фактори впливу ЗР на ПВО

цій щодо покращення якості води за вмістом ЗР. Гранулометричний склад ЗР визначає тривалість часу, протягом якого ЗР залишатимуться в суспензії та визначає їх розподіл по глибині ПВО та сорбційну здатність. Менші частинки залишатимуться у товщі води протягом більш тривалого часу, ніж більші частинки [12, 13]. Також розмір ЗР впливає на їх сорбційну здатність. Більш дрібні частинки, як правило, мають вищу сорбційну здатність через наявність колоїдних властивостей [14].

Надійність експлуатації ОСО з огляду хімічного аспекту пов'язана з гарантією того, що в системі не виникнуть відмови, через хімічні перетворення [15, 16]. В свою чергу, надійність хімічних процесів значно покращується після встановлення хімічного контролю вхідної води [17, 18]. Модифікація та модернізація водопідготовки, зміна стратегій експлуатації, технічного обслуговування та контролю зменшують споживання води [19, 20]. До ОСО, для поновлення витрат, постійно направляється додаткова вода та відбувається скид зворотних вод у ПВО [21]. При цьому, особливості водопідготовки, якість вхідної води та технологія очищення скиду формують характеристики ЗР у складі СЗВ [22, 23, 24].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. ЗР мають значний вплив на гідробіотів і середовище їх проживання. ЗР можуть впливати на

макрофіти та водорості, головним чином через вплив на кількість світла, що проникає крізь товщу води, через що обмежується швидкість асиміляції енергії при фотосинтезі [25]. Також вплив ЗР на бентосних безхребетних полягає у їх травмуванні, коли ЗР переносяться потоком по дну русла [26]. Крім того, збільшення концентрації ЗР на 40–80 мг/дм³ вище фонових рівнів викликає збільшення дрейфу безхребетних на 25–90% [27]. ЗР можуть бути захоплені перифітоном що призводить до закупорки харчових отворів та знижує ріст організмів [28]. Вплив ЗР на рибу полягає у зниженні розвитку та виживання ікри, через те, що ЗР блокують пори та перешкоджають достатньому обміну розчиненого кисню та вуглекислого газу між ікрою та водою [29]. ЗР можуть також впливати безпосередньо на вільноживучу рибу, закупорюючи та абразивно діючи на їхні зяброві структури [30]. Варто також зазначити, що хоча риба реагує на потоки ЗР, вона також може викликати потоки ЗР [31]. Попри значну кількість досліджень, все ще залишаються невирішеними питання формування ЗР у СЗВ. Відсутність детальних даних щодо процесів формування ЗР у технологічних системах ускладнює розробку ефективних рішень для зниження екологічних ризиків для ПВО.

Новизна. Новизна дослідження полягає у встановленні впливу параметрів технологічних процесів та методів хімічної обробки води ОСО електростанції на формування характеристик ЗР у складі СЗВ.

Методологічне або загальнонаукове значення.

Методологічною основою дослідження є застосування комплексного підходу до вивчення складу та властивостей ЗР, що поєднує фактори впливу ЗР на ПВО (рис. 2) та комплексну методологію вимірювання характеристик ЗР (рис. 3).

Дослідження проводили для технологічних вод ОСО РАЕС, поповнення яких відбувається за рахунок поверхневих вод річки Стир. Відбір проб води проводили за стандартизованою методикою [32]. Схематичну послідовність вимірювань характеристик властивостей ЗР вказано на рис. 3. Аналіз даних хімічного контролю СЗВ проводили за звітними документами РАЕС [33]. Розмір ЗР та їх розподіл за фракціями визначали за допомогою лазерного лічильника НІАС/ROYCO 8000A та мікроскопу (об'єктив 20х, окуляр 10х, точність поділки 0,005 мм). Вимірювання концентрації ЗР проводили гравіметричним методом

за методикою [34]. Визначення класу якості води річки Стир за вмістом ЗР проводили на підставі екологічної класифікації (табл. 1) [36, 37].

Хімічний склад ЗР визначали відповідно до стандартів [35], що включало визначення масових часток кальцію (CaO) та магнію (MgO), кремнію (SiO₂), органічних (ППП_{орг.}) та мінеральних (ППП_{карб.}) домішок. Час осадження ЗР визначали гравіметричним методом, швидкість осідання ЗР оцінювали за ходом води в тракці ОСО на ділянках із різною віддаленістю від джерела підживлення ОСО.

Виклад основного матеріалу дослідження. На основі аналізу даних, встановлено, що технологія вапнування у процесі підготовки додаткової води ОСО спричиняє суттєве збільшення концентрації ЗР, яка досягає максимальних значень – до 70% у порівнянні з вихідною водою (рис. 4). Це пояснюється впливом часток вапна (CaO), які утворюються під



Рис. 3. Схема виконання вимірювань характеристик ЗР

Таблиця 1

Екологічна класифікація якості ПВО за концентрацією ЗР

Класи	I	II		III		IV	V
Категорії	1	2	3	4	5	6	7
ЗР, мг/дм ³	< 5	5–10	11–20	21–30	31–50	51–100	> 100
Якість води за станом	Відмінні	Добрі		Задовільні		Погані	Дуже погані
	Відмінні	Дуже добрі	Добрі	Задовільні	Посередні	Погані	Дуже погані
Якість води за ступенем чистоти	Дуже чисті	Чисті		Забруднені		Брудні	Дуже брудні
	Дуже чисті	Чисті	Досить чисті	Слабко забруднені	Помірно забруднені	Брудні	Дуже брудні



Рис. 4. Збільшення концентрації ЗР та зменшення концентрації ЗТ в освітленій воді в порівнянні з вхідною водою

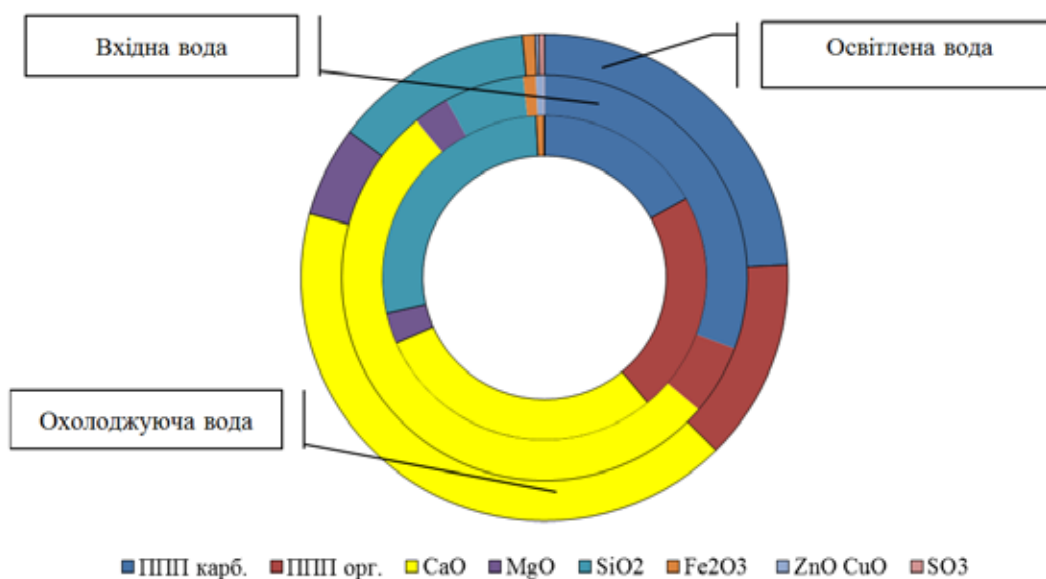


Рис. 5. Зміна хімічного складу ЗР у технологічних водах ОСО (в перерахунку на оксиди)

час вапнування, внаслідок чого знижується швидкість дисоціації гідроксиду кальцію ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) і накопичуються кристали карбонату кальцію (CaCO_3) у зародковому стані [38]. Водночас результати дослідження свідчать, що процес вапнування забезпечує ефективне зменшення загальної твердості (ЗТ) води.

Встановлено, що в процесі водопідготовки за технологією вапнування відбувається зміна хімічного складу ЗР (рис. 5). Зокрема, етап вапнування характеризується зменшенням масової частки органічних домішок і діоксиду кремнію (SiO_2), що свідчить про ефективність цього процесу при вилученні

зазначених компонентів з води. Одночасно зафіксовано значне збільшення масової частки CaO , що вказує на інтенсивне утворення кальцієвих сполук у результаті вапнування. Охолоджуюча вода ОСО демонструє зворотну тенденцію у зміні хімічного складу ЗР. Зокрема, спостерігається підвищення масової частки SiO_2 та оксиду магнію (MgO) на фоні зменшення вмісту CaO . Це пояснюється процесами утворення накипу в ОСО, що супроводжуються формуванням кристалів CaCO_3 .

Мікроскопіювання відокремлених ЗР вхідної та освітленої води ОСО дозволило помітити, що

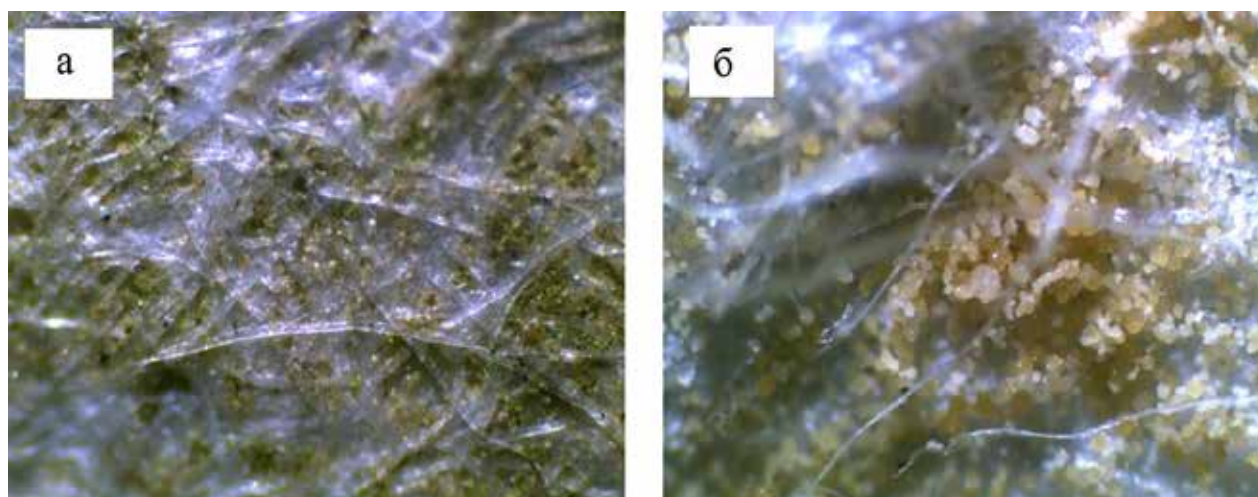


Рис. 6. Мікроскопіювання ЗР вхідної та освітленої води (а – вхідної води; б – освітленої води ОСО)

Таблиця 2

Гранулометричний склад ЗР технологічних вод ОСО

Середовище	Фракція часток, мкм	Максимальна фракція	
		Розмір, мкм	%, шт
Вхідна вода	0,5-20	2-10	79,0
Освітлена вода	20-50	10-30	80,5
Охолоджуюча вода	50-150	120-150	83,6
СЗВ	20-50	20-50	75,3

в освітленій воді ОСО ЗР мають кристалічну структуру (рис. 6). Результати аналізу гранулометричного складу демонструють, що вапнування впливає на формування нових фракцій гетерогенної фази із частками інших розмірів. Максимальний розмір часток ЗР зафіксовано в охолоджуючій воді ОСО (120-150 мкм), найменший – у вхідній воді річки Стир (2-10 мкм). Для освітленої води ОСО після вапнування максимальна фракція становить 10-30 мкм (табл. 2). В охолоджуючій воді ОСО спостерігається укрупнення часток ЗР внаслідок агрегації, а у СЗВ переважають частки, здатні до осадження завдяки седиментаційним процесам.

Для оцінки поведінки ЗР у процесі експлуатації ОСО було досліджено процеси їх седиментації. Час осадження ЗР визначався для проб, відібраних у тракті ОСО на найбільш віддаленій ділянці від місця підживлення системи (точки відбору проб 1-3). Час седиментації ЗР технологічних вод ОСО становить 50-120 хвилин, що підтверджує ефективність осадження часток розміром понад 50 мкм у технологічних водах ОСО (рис. 7).

Внаслідок змін структури та складу ЗР, через досить низькі значення часу седиментації, спостерігається їх осадження в ОСО. В результаті у СЗВ, порівняно з концентрацією ЗР вхідної води, спостерігається зниження їх концентрації (рис. 8). За концентрацією ЗР вода річки Стир після скиду

СЗВ відповідає гігієнічним вимогам до складу та властивостей води ПВО у пунктах господарсько-питного та культурно-побутового водокористування за значенням гранично-допустимої концентрації (ГДК). За екологічною класифікацією по ЗР (табл. 1) вода річки Стир після скиду СЗВ відносяться до II клас, 2 категорії, що характеризує якість води за станом як «добра» і за чистотою – «дуже добра» (рис. 9).

Результати проведеного дослідження демонструють двоаспектний вплив процесу вапнування на якісні показники технологічних вод ОСО. Зокрема, з одного боку, суттєве підвищення концентрації ЗР спостерігається внаслідок коагуляційних процесів, з іншого боку, ефективне зниження ЗР пояснюється осадженням CaCO_3 , хоча цей процес може бути обмежений умовами температурного режиму та кінетикою реакцій у водопідготовчих системах. Детальний аналіз гранулометричного і хімічного складу ЗР свідчить про суттєві зміни, зумовлені процесами вапнування. Зокрема, виявлено, що вміст часток розміром 10-30 мкм в освітленій воді ОСО досягає 80%, що є наслідком хімічної взаємодії Ca(OH)_2 . У порівнянні з вхідною водою річки Стир, де домінують частинки ЗР розміром 2-10 мкм, освітлена вода демонструє зміну розподілу фракції часток, яка підтверджує утворення нових фаз у результаті вапнування. Додатково встановлено, що у тракті ОСО відбувається агрегація

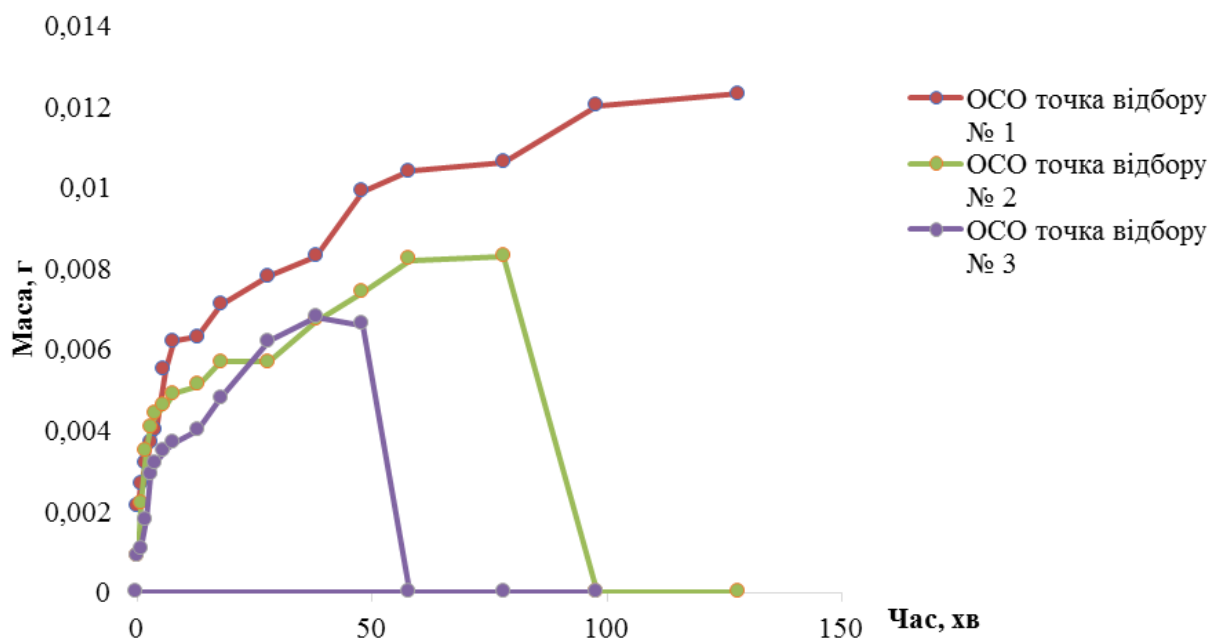


Рис. 7. Визначення часу седиментації ЗР для проб технологічних вод, відібраних для різної віддаленості тракту ОСО

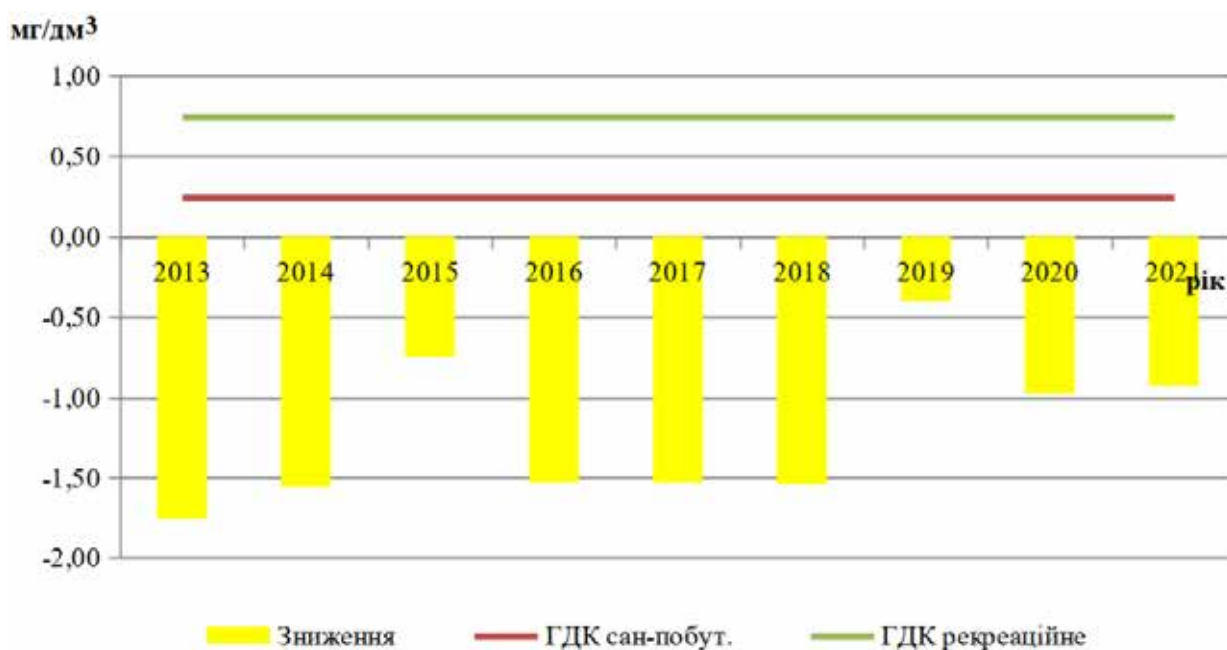


Рис. 8. Порівняння фактичних значень різниці концентрації ЗР в вхідній воді та воді річки Стир

дрібних часток до фракцій розміром 120-150 мкм, які переважно осаджуються в ОСО. Ця особливість пояснює зниження вмісту ЗР у СЗВ, де домінують частинки розміром 20-50 мкм, а також зменшення концентрації ЗР у СЗВ на 60-70%. Хімічний аналіз освітленої води після вапнування свідчить про збільшення частки кальцію, що пов'язано з утворенням CaCO_3 як продукту реакції [39, 40]. Одночасно спостерігається зниження вмісту орга-

нічних домішок, що вказує на коагуляцію органічних речовин. Порівняння отриманих результатів із літературними даними [41] підтверджує ефективність вапнування як методу зменшення концентрації накопуютьовуючих компонентів, таких як Ca^{2+} , CO_3^{2-} , HCO_3^- , і покращення якісних характеристик охолоджувальної води. Оцінка екологічних характеристик СЗВ вказує на їх відповідність нормативним вимогам. Концентрація ЗР у воді річки Стир

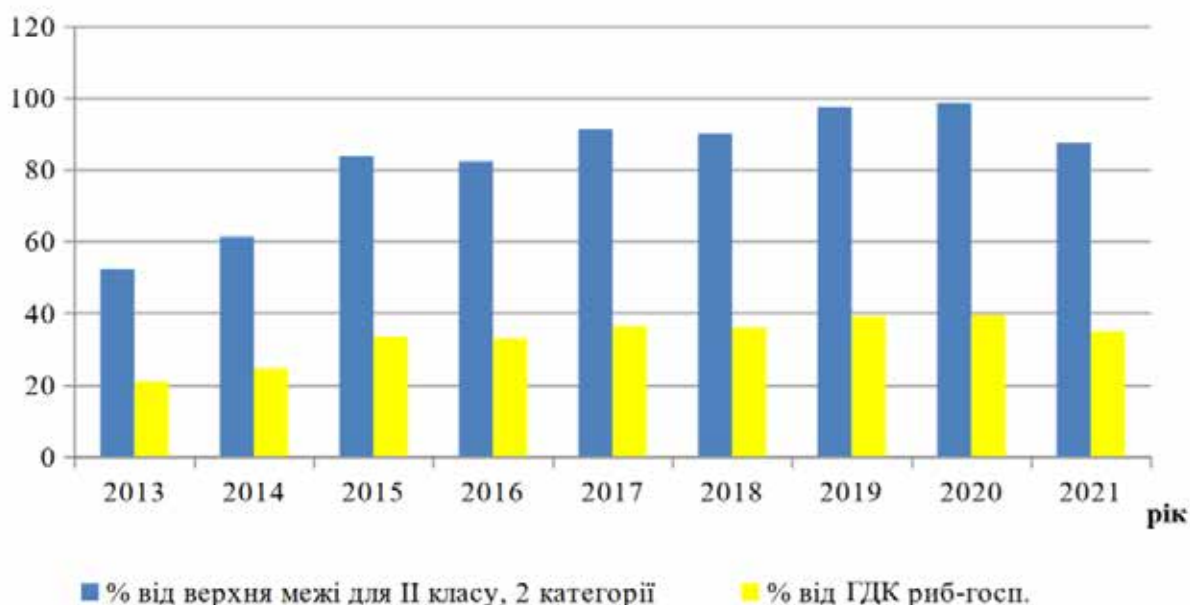


Рис. 9. Нормалізовані значення концентрації ЗР у воді річки Стир

не перевищує 0,4 від ГДК, що підтверджує їх класифікацію за екологічними стандартами як «дуже добра» (2 категорія II класу). Ці показники свідчать про мінімальний вплив ЗР при водопідготовці та експлуатації ОСО АЕС на довкілля.

Головні висновки. Проведене дослідження висвітлює формування ЗР у водному скиді ОСО, акцентуючи увагу на формуванні складу та властивостей ЗР у технологічних водах. Вапнування води сприяє значному зниженню ЗР та змінює гранулометричний і хімічний склад ЗР, хоча цей процес супроводжується підвищенням їх концентрації. Зокрема, встановлено, що після вапнування домінуючою фракцією у освітленій воді є частки розміром 10-30 мкм, водночас у системі ОСО спостерігається агломерація часток ЗР у більшій фракції (120-150 мкм), що забез-

печує суттєве зниження концентрації ЗР у скидних водах на 60-70%. Зміна хімічного складу ЗР включає збільшення кальцієвих сполук і зменшення частки органічних речовин та SiO_2 . Час осадження ЗР, який варіює в межах 50-120 хвилин, підтверджує ефективність седиментаційних процесів у ОСО. Оцінка екологічної відповідності скидних вод свідчить про їх якість у межах до II клас, 2 категорії, що характеризує якість води за станом як «добра» і за чистотою – «дуже добра».

Перспективи використання результатів дослідження. Отримані результати дослідження розширюють наукові знання про поведінку ЗР в технологічних водах та сприяють вдосконаленню технологій водопідготовки, що має практичне значення для енергетичної галузі та екологічної інженерії.

Література

1. Waters T.F. Sediment in streams: sources, biological effects, and control. *American Fisheries Society Monograph*. Bethesda, Maryland, 1995. № 7. С. 79–118.
2. Dean D.J., Topping D.J., Schmidt J.C., Griffiths R.E., Sabol T.A. Sediment supply versus local hydraulic controls on sediment transport and storage in a river with large sediment loads. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*. 2016. Vol. 121, № 1. P. 82–110.
3. García-Ruiz J.M., Beguería S., Nadal-Romero E., González-Hidalgo J.C., Lana-Renault N., Sanjuán Y. A meta-analysis of soil erosion rates across the world. *Geomorphology*. 2015. Vol. 239. P. 160–173.
4. Bilotta G.S., Brazier R.E. Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota. *Water Research*. 2008. Vol. 42, № 12. P. 2849–2861.
5. Клименко М.О., Бедункова О.О. Кругообіг важких металів у водних екосистемах: монографія. Рівне: НУВГП, 2008. 216 с.
6. Kuznetsov P., Biedunkova O. Experimental Tests of Biocidal Treatment for Cooling Water of Safety Systems at Rivne NPP. *Nucl. Radiat. Saf.* 2023. № 1. P. 30–40. [https://doi.org/10.32918/nrs.2023.1\(97\).04](https://doi.org/10.32918/nrs.2023.1(97).04)
7. Biedunkova O., Kuznetsov P., Gandziura V. Behaviour of dissolved inorganic salts in the cooling water of a nuclear power plant open recirculation system and formation of water discharge. *Royal Society Open Science*. 2024. Vol. 11, № 8. P. 240492. <https://doi.org/10.1098/rsos.240492>
8. Морозова А.О., Дзяченко Т.М. Екологічний стан малої урбанізованої водойми оз. Небриж за деякими гідрохімічними та гідробіологічними показниками. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2018. № 3. С. 38–44.

9. Жежеря В.А., Жежеря Т.П., Линник П.М., Шелюк Ю.С. Методичні особливості дослідження складу завислих речовин поверхневих вод. *Збірка тез доповідей Київської конференції з аналітичної хімії: Сучасні тенденції* 2024. Київ: Інтерсервіс, 2024. 140 с. С. 134–135.
10. Zezulka Š., Mařálek B., Mařálková E., Odehnalová K., Pavlíková M., Lamaczová A. Suspended Particles in Water and Energetically Sustainable Solutions of Their Removal—A Review. *Processes*. 2024. Vol. 12, № 12. P. 2627.
11. Gong C., Zhang H., Huo S., Zhang J., Weng N., Li W. Transformation processes of total suspended solids and dissolved organic matter in rivers: Influences of different land use sources and degradation processes. *Science of The Total Environment*. 2025. Vol. 963. P. 178509.
12. Schindl G., Studnicka M., Eckelhart A., Summer W. Hydrological and instrumentation aspects of monitoring and analysing suspended sediment transport crossing international borders. *Sediment Budgets 1: Proceedings of symposium S1 held during the Seventh IAHS Scientific Assembly at Foz do Iguaçu, Brazil*. 2005. P. 227–240.
13. Brady N.C., Weil R.R. The nature and properties of soils. 13th ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2008. P. 662–710.
14. Stone M., Droppo I.G. In-channel surficial fine-grained sediment laminae. Part II: Chemical characteristics and implications for contaminant transport in fluvial systems. *Hydrological Processes*. 1994. Vol. 8, № 2. P. 113–124.
15. Nyman R., Erixon S., Tomic B., Lydell B. Reliability of piping system components. Vol. 4. The pipe failure event database. *Swedish Nuclear Power Inspectorate*. 1996.
16. Kuznietsov P.M., Biedunkova O.O., Yaroshchuk O.V., Pryshchepa A.M. Optimization of the anti-scale corrective treatment of water by organic phosphonate. *Science and Innovation*. 2024. Vol. 20, № 2. P. 79–90. <https://doi.org/10.15407/scine20.02.079>
17. Rajakovic-Ognjanovic V.N., Zivojinovic D.Z., Grgur B.N., Rajakovic L.V. Improvement of chemical control in the water-steam cycle of thermal power plants. *Applied Thermal Engineering*. 2011. Vol. 31. P. 119–128.
18. Kawamura H., Shoda Y., Terachi T., et al. PWR secondary water chemistry guidelines in Japan—purpose and technical background. *Progress in Nuclear Energy*. 2019. Vol. 114. P. 121–137.
19. Rodriguez M.A. Corrosion control of nuclear steam generators under normal operation and plant-outage conditions: a review. *Corrosion Reviews*. 2020. Vol. 38, № 3. P. 195–230.
20. Lee J.-M., Jeon S.-H., Kim K.-S., Han J., Hur D.H. Effects of pH control agents on magnetite deposition on steam generator tubes. *Annals of Nuclear Energy*. 2020. Vol. 143. P. 107486.
21. Hell, F., Liebminger, L. A., & Bharati, V. P. (2024). Boiler Make-Up Water Treatment. In *Handbook of Water and Used Water Purification* (pp. 911-921). Cham: Springer International Publishing.
22. Pan S.-Y., Snyder S.W., Packman A.I., Lin Y.-J., Chiang P.-C. Cooling water use in thermoelectric power generation and its associated challenges for addressing water-energy nexus. *Water-Energy Nexus*. 2018. Vol. 1. P. 26–41.
23. Biedunkova O., Kuznietsov P., Korbutiak V. Evaluation of return cooling water reuse in the wet cooled power plant to minimise the impact of water intake and drainage. *Sustainable Chemistry for the Environment*. 2024. Vol. 7. P. 100151. <https://doi.org/10.1016/j.scenv.2024.100151>
24. Kuznietsov P., Biedunkova O. Evaluating the impact of dispersed particles in the water of a power plant recirculating cooling system on the discharge of suspended solids into a natural water body. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2023. Vol. 6(10), № 126. P. 6–16. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.292879>
25. Bosco Imbert J., Perry J.A. Drift and benthic invertebrate responses to stepwise and abrupt increases in non-scouring flow. *Hydrobiologia*. 2000. Vol. 436, № 1. P. 191–208.
26. Matsuzaki S.I.S., Usio N., Takamura N., Washitani I. Effects of common carp on nutrient dynamics and littoral community composition: roles of excretion and bioturbation. *Fundamental and Applied Limnology*. 2007. Vol. 168. P. 27–38.
27. Gammon J.R. The effect of inorganic sediment on stream biota. United States Environmental Protection Agency, Water Quality Office. 1970. Vol. 18050.
28. Newcombe C.P., MacDonald D.D. Effects of suspended sediments on aquatic ecosystems. *North American Journal of Fisheries Management*. 1991. Vol. 11, № 1. P. 72–82.
29. Haygarth P.M., Jarvis S.C. (Eds.). *Agriculture, Hydrology and Water Quality*. Wallingford: CABI, 2002. 502 p.
30. Greig S.M., Sear D.A., Carling P.A. The impact of fine sediment accumulation on the survival of incubating salmon progeny: implications for sediment management. *Science of the Total Environment*. 2005. Vol. 344, № 1–3. P. 241–258.
31. Redding J.M., Schreck C.B. Influence of ambient salinity on osmoregulation and cortisol concentration in yearling coho salmon during stress. *Transactions of the American Fisheries Society*. 1983. Vol. 112, № 6. P. 800–807.
32. ДСТУ ISO 5667-6:2009. Якість води. Відбирання проб. Частина 6. Настанови щодо відбирання проб з річок і струмків. Наказ від 03.12.2009 № 440. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=64511 (дата звернення: 18.12.2024).
33. Звіти з оцінки впливу нерадіаційних факторів ВП «Рівненська АЕС» URL: <https://www.energoatom.com.ua/> (дата звернення: 18.12.2024).
34. КНД 211.1.4.039-95. Методика гравіметричного визначення завислих (суспендованих) речовин в природних і стічних водах. URL: https://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page.html?id_doc=110594 (дата звернення: 18.12.2024).
35. ГКД 34.37.304-2003. Контроль стану основного обладнання електростанцій. Визначення хімічного складу відкладень. Методичні вказівки. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=69844 (дата звернення: 18.12.2024).
36. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями. Київ, 1998. 28 с.
37. Нормативи екологічної безпеки водних об'єктів, що використовуються для потреб рибного господарства щодо гранично допустимих концентрацій органічних та мінеральних речовин у морських та прісних водах. Наказ Мінагрополітики України від 30.07.2012 № 471.

38. Бєдункова О.О., Кузнєцов П.М. Формування карбонатної системи оборотної охолоджуючої води атомної електро-станції та вплив на рН поверхневих вод при зворотних скидах. *Екологічні науки*. 2023. № 3(48). С. 163–168. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.3-48.26>
39. Кузнєцов П.М., Бєдункова О.О. Ідентифікація та просторово-часові зміни показників вмісту органічних речовин в поверхневих водах р. Стир. *Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки*. 2024. № 135(2). С. 249–256. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.135.1.33>
40. Kuznietsov P.M., Biedunkova O.O. Multivariate regression studies for the investigation of the COD, BOD, and TOC concentrations in the water of the Styr River within the zone of influence of the power plant discharge. *Water Practice & Technology*. 2024. Vol. 19, № 4. P. 1412–1426. <https://doi.org/10.2166/wpt.2024.075>
41. Кузнєцов П.М. Дослідження впливу підкислення водоциркуляційної системи на скиди сульфат-іонів зі зворотними водами. *Український журнал природничих наук*. 2023. № 6. С. 136–148. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.6.2023.14>