

УДК 574

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.2-59.12>

СУЧАСНІ МЕТОДИ ОЧИЩЕННЯ ВИРОБНИЧИХ СТИЧНИХ ВОД НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

Пилипчук О.Я., Пічкур Т.В.

Державний університет інфраструктури та технологій

вул. Кирилівська, 9, 04071, м. Київ

olegpilipchuk47@gmail.com, pt1993@ukr.net

У статті висвітлюються сучасні методи очищення виробничих стічних вод на залізничному транспорті. Актуальність нашої роботи визначається зростанням техногенного навантаження на навколишнє середовище з боку залізничного транспорту. Проаналізовано хімічні і фізичні методи, що застосовуються сьогодні для очищення стічних вод в різних місцях дислокації рухомого складу залізниць, вагонів, вагонних депо. Встановлено, що забруднення виробничими стічними водами зумовлено такими факторами:

а) широким спектром забруднення стічними водами залізничної галузі;

б) до природних методів очищення відносяться ґрунтові методи очищення в біологічних ставках. Очищення в останньому випадку відбувається під дією ґрунтової мікрофлори, сонця, повітря і під впливом життєдіяльності рослин. При штучній аерації в нижній частині ставків підводиться повітря. У спорудах штучного біологічного очищення активна біомаса розміщується на нерухомому матеріалі, а вода стікає по матеріалу завантаження (біофільтри). Активна біомаса може перебувати у завислому стані (аеротенки). Ці два способи можна використовувати одночасно (занурені біофільтри і біотенки). У статті також розглянуті приклади розрахунків обладнання щодо очищення виробничих стічних вод на транспортних підприємствах з допомогою механічних і фізико-механічних методів очищення, а також оцінка ефективності їх роботи.

Результати експериментальних досліджень також показали, що використання сучасних методів очищення виявилися досить ефективними відносно до недавно забрудненого навколишнього середовища, застосування сучасних методів очищення виявилися досить ефективними під час їх застосування із високою міючою здатністю.

Використання перолксикарбону натрію як ефективного миючого засобу для очищення виробничих стічних вод знаходить своє пояснення в особливому механізмі, а саме в гравітаційно-флотаційному ефекті. На основі застосування сучасних методів очищення забруднених стічних вод слід пропонувати різні методи, екологічно безпечних миючих засобів (особливо гравітаційно-флотаційних відмивачів нафтопродуктів).

Експериментальні дослідження показали високу ефективність (99%) застосування сучасних методів для очищення стічних вод на залізничному транспорті. Це дозволило дійти висновку, що використання сучасних методів значно знижує небезпеку забруднення від миючих речовин (шляхом зниження вмісту нафтопродуктів і важких металів). *Ключові слова:* забруднення виробничих стічних вод, залізничний транспорт, миючі засоби, екологія.

Modern methods of industrial wastewater treatment in railway transport. Pylypchuk O., Pichkur T.

The article highlights modern methods of industrial wastewater treatment in railway transport. The relevance of our work is determined by the growth of technogenic load on the environment from railway transport. The chemical and physical methods used today for wastewater treatment in various locations of railway rolling stock, wagons, and wagon depots are analyzed. It was established that pollution with industrial wastewater is caused by the following factors:

a) a wide range of pollution with wastewater from the railway industry;

b) natural purification methods include soil purification methods in biological ponds. Purification in the latter case occurs under the influence of soil microflora, sun, air, and under the influence of plant life. During artificial aeration, air is supplied to the lower part of the ponds.

In artificial biological treatment facilities, active biomass is placed on a stationary material, and water flows over the loading material (biofilters). Active biomass can be in a suspended state (aerotanks). These two methods can be used simultaneously (submerged biofilters and biotanks). The article also considers examples of calculations of installations for the treatment of industrial wastewater at transport enterprises using mechanical and physical-mechanical cleaning methods, as well as an assessment of the effectiveness of their work.

The results of experimental studies also showed that the use of modern cleaning methods turned out to be quite effective in relation to freshly polluted environments, the use of modern cleaning methods turned out to be quite effective when they are used with high cleaning capacity. The use of sodium peroxycarbonate as an effective detergent for the treatment of industrial wastewater finds its explanation in a special mechanism, namely the cavitation-flotation effect. Based on the application of modern methods of cleaning contaminated wastewater, various methods, environmentally friendly detergents (especially cavitation-flotation scrubbers of petroleum products) should be proposed. Experimental studies have shown high efficiency (99%) of the application of modern methods for wastewater treatment in railway transport. This led to the conclusion that the use of modern methods significantly reduces the risk of pollution from detergents (by reducing the content of petroleum products and heavy metals). *Key words:* industrial wastewater pollution, railway transport, detergents, ecology.

Постановка проблеми. Частка прісної води, яку використовує людство для своїх потреб, складає лише малу частину загальних водних ресурсів

Землі. Цієї води повністю вистачало аж до середини ХХ сторіччя. Науково-технічний прогрес за відносно короткий час порушив рівновагу, яка склалася

сторіччями у всіх ланках кругообігу, цим власне змінив якість циркулюючої води. Це призвело до того, що вже, в деяких зонах Земної кулі не вистачає прісної води, а в багатьох регіонах, хоча прісної води поки-що достатньо, вона вже сильно забруднена. Ось чому раціональне використання і охорона водних ресурсів набувають все більшого значення. Ці питання є особливо важливі для України, яка сьогодні перебуває на стадії перехідного суспільства і переживає глибоку еколого-економічну кризу.

Актуальність дослідження. Залізничний транспорт відноситься до тієї галузі народного господарства, яка є активним і постійним джерелом комплексного впливу шкідливих речовин на навколишнє середовище. Із усього розмаїття забруднюючих речовин, що впливають на природне середовище під час експлуатації залізничного транспорту, слід виділити як найбільш масштабні, які постійно надходять в навколишнє середовище: забруднені стічні води (нафта і нафтопродукти, іони важких металів, окиси нітрогену, сульфур, карбон, і газоподібних вуглеводнів).

Наша публікація підготовлена в контексті практичної екології на залізничному транспорті. Нами розглядається широкий спектр завдань, який охоплює усі сфери виробничої діяльності на залізничному транспорті та їх вплив на навколишнє середовище. У статті характеризуються найбільш сучасні методи та приклади розрахунків, які дозволяють оцінити в кожному конкретному випадку рівень впливу підприємств залізничної галузі на об'єкти навколишнього середовища і розрахувати необхідні засоби захисту. Негативне навантаження на навколишнє середовище починається з моменту функціонування підприємств залізничного транспорту і продовжуються постійно протягом тривалого часу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Потрібно відзначити, що перші систематизовані дослідження проблеми – застосування сучасних методів дослідження забруднених стічних вод на залізничному транспорті в Україні були проведені співробітниками кафедри екології та безпеки життєдіяльності Київського інституту залізничного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій України [1-2]. У цих статтях, присвячених впливу залізничного транспорту на екологію, питанням боротьби із забрудненням стічних вод, приділяється належна увага. Але ще до наших досліджень в Україні, починаючи з середини ХХ ст. даними питаннями почав займатися О.М. Кривописин [3]. У статті, присвяченій охороні навколишнього середовища у сучасних умовах на залізниці, питання очищення забруднених стічних промислових вод займає належне місце. На особливу увагу заслуговує монографія В.Д. Романенка «Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями» [4]. Стаття співзвучна з нашою статтею.

У цей же час доктор географічних наук, професор, український вчений, гідролог, гідрохімік, гідроеколог, фахівець з дослідження якості поверхневих вод та управління водними ресурсами Валентин Кирилович Хільчевський опублікував серію фундаментальних монографій та підручників з означеного нами питання. Для нас надзвичайно важливою є інформація про забруднення природних вод та їх охорона: джерела забруднення природних вод, господарсько-побутові стічні води і методи їхнього очищення, стічні води промислових об'єктів і методи їхнього очищення, самоочищення водоєм, управління охороною вод від забруднення, удосконалення моніторингу якості поверхневих вод суші, комплексна оцінка й нормування якості поверхневих вод як основа екологічного менеджменту, оцінка якості забруднених промислових вод.

Метою нашого дослідження є аналіз сучасних методів очищення виробничих стічних вод на залізничному транспорті, їх вплив на екологію довкілля.

Виклад основного матеріалу. Води, які видаляються після їх використання, називаються *стічними*. При цьому вода, використана на побутові і виробничі потреби, містить забруднення, які змінюють її первісний хімічний склад або фізичні властивості. Вона підлягає видаленню з території виробничого об'єкту.

У залежності від походження, виду і якісної характеристики домішок стічні води поділяються на побутові, виробничі і атмосферні (грозові).

До *побутових стічних вод* відносяться води від їдальні і туалетних кімнат, ванних і пральних об'єктів, а також від підприємств громадського харчування і лікарських закладів.

До *виробничих стічних вод* відносяться води, які утворилися при проведенні різних технологічних процесів під час видобування корисних копалин, а також вода, яка пройшла через забруднену територію підприємства і непридатна для повторного використання.

Виробничі стічні води поділяють на дві категорії: *забруднені і умовно чисті*.

Забруднені стічні води, у свою чергу, поділяють на три групи; забруднені органічними домішками, забруднені мінеральними домішками і забруднені сумішшю цих домішок.

Кількість і склад виробничих стічних вод залежать від технологічних процесів, режимів їх проведення, складу сировини, випускної продукції і висхідної свіжої води тощо.

На підприємствах залізничного транспорту стічні води утворюються в основному під час охолодження апаратури, при промиванні виробів, при травленні і нанесенні гальванічних покриттів, при фарбуванні виробів і при охолодженні станкового парку емульсіями. Основними забруднюючими речовинами стічних вод ремонтних цехів, локомотивних і вагонних депо є масла, емульсії різного роду, сода і ін.

Зливові води утворюються в результаті випадання атмосферних опадів, танення снігу і поливання території. У складі зливових стічних вод багато піску, глини, сміття, нафтопродуктів і специфічних домішок, характерних для того чи іншого виробництва.

Оцінюючи стічні води при скиді їх у водойми, необхідно враховувати вид водокористування даної водойми.

Розрізняють господарсько-побутове, рибогосподарське, промислове і сільськогосподарське водокористування.

При класифікації методів очищення і видалення домішок зі стічних вод використовуються наступні класифікаційні ознаки: фізико-хімічні процеси, які застосовуються під час очищення води; сили, які впливають на домішки, які містяться у стічній воді; здатність домішок змінювати свій стан в процесі очищення.

У даний час широко використовуються традиційні методи очищення: механічні; хімічні; фізико-хімічні; біологічні.

До *механічних методів очищення* відносяться: проціджування, відстоювання, освітлення при згущеному шарі осаду, фільтрування, доцентрові методи сепарації.

Механічне очищення застосовується для виділення із стічних вод нерозчинних мінеральних і органічних сумішів. Частіше за все вона служить попереднім етапом очищення виробничих стічних вод. Механічне очищення забезпечує виділення завислих речовин до 90-95 % і зниження органічних забруднювачів за показником БПК (біохімічна потреба в кисні) до 25 %.

Стандартна схема очищення на очисних станціях складається з проціджування через решітки, пісковловлювання, відстоювання і фільтрування. В низці випадків використовуються нафтовловлювачі, гідроциклони і рідинні сепаратори.

До *хімічних методів* очищення стічних вод відносяться: нейтралізація; окислення; відновлення: реагентні методи виділення забруднюючих речовин у вигляді нерозчинних або малорозчинних домішок.

Хімічне очищення стічних вод проводиться у зворотній системі водозабезпечення, а також перед скидом води у водойми, або міську каналізацію. Цей метод застосовується також для попереднього очищення стічної води перед біологічним або фізико-хімічним очищенням.

Нейтралізація стічних вод проводиться для зниження вмісту в них кислот або лугів. Практично нейтральним вважаються води $pH = 6,5-8,5$.

Окислювальний метод використовують для видалення із виробничих стічних вод ціанідів, сірководню, сульфідів та інших речовин.

В якості окислювачів найбільш часто застосовують хлор, гідрохлорид кальцію, хлорне вапно, озон, технічний кисень, окисли марганцю, перманганат, біохромат калію.

Метод відновлення використовується для очищення стічної води, в якій містяться легковідновлювальні сполуки міді, хрому, миш'яку і ртуті. В якості реагентів відновлювачів найбільше поширеними стали натрієві солі сірчистої кислоти, а також сульфід заліза і діоксид сірки.

Реагентні методи застосовуються для переведення розчинних домішок у малорозчинні з наступним їх виділенням із води. Цей метод використовується для очищення виробничих стічних вод від сполук важких кольорових металів (мідь, нікель, кобальт, цинк, свинець, ртуть). Останні випадають в осад у вигляді відповідних гідроксидів, сульфатів або карбонатів.

Для виділення важких кольорових металів і заліза з кислих стічних вод використовують ті ж реагенти, що й при нейтралізації.

Фізико-хімічні методи очищення виробничих стічних вод відіграють важливу роль, Найбільше поширення отримали наступні методи очищення:

- коагуляція;
- сорбція;
- флотація;
- мембранні методи.

Ці методи використовуються як самостійно, так і в поєднанні з механічними і біологічними методами. Найбільш активними є фізико-хімічні методи очищення, які застосовують в локальних дослідних системах промислових підприємств.

Коагуляція – це процес злипання дисперсних частинок за рахунок їх міжмолекулярної взаємодії і об'єднання в агрегати. Речовини, які здатні викликати коагуляцію частинок називаються коагуляторами. До них відносяться солі амонію та заліза. До факторів, здатних викликати коагуляцію, можна віднести зміну температури, перемішування рідини, вплив випромінювання, або електричного заряду. На процес коагуляції сильно впливає додавання у воду електролітів.

При очищенні виробничих стічних вод в основному застосовується процес гетерокоагуляції, який можна визначити як взаємодію колоїдних та дрібнодисперсних частинок стічної води з агрегатами, які утворюються при введенні коагулянтів у стічну воду.

Сорбція – це процес поглинання речовини із стічної води твердим або рідким сорбентом. Поглинання речовин рідким адсорбентом відбувається по всьому об'єму води. При поглинанні твердим адсорбентом поглинання речовини із стічної води відбувається на поверхні адсорбенту.

Сорбційне очищення використовується для видалення із стічної води ароматичних сполук, слабких електролітів, неорганічних сполук і гідрофобних аліфатичних сполук. В якості сорбентів застосовується активоване вугілля, алюмогелі, попіл, коксова дрібнота, торф, шлаки і активні глини.

Флотація – це процес насичення стічної води бульбашками повітря, разом з якими на поверхню

спливають дисперсні забруднення. Флотація широко використовується для очищення виробничих стічних вод від нафти і нафтопродуктів, масел і різних волокнистих матеріалів. Бульбашка повітря прилипає до поверхні частинки тільки в тому випадку, якщо рідина погано її змочує.

Зворотній осмос і ультрафільтрація – це мембранні методи розділення рідких систем. Розділений розчин доторкується до напівпроникної мембрани з одного її боку. Метод зворотного осмосу полягає у фільтруванні розчинів під тиском через мембрани, які пропускають розчинник і повністю або частково затримують молекули розчинної речовини. Метод зворотного осмосу можна використати для виведення із стічної води емульгованих масел, фенолів, іонів важких металів.

До термічного оброблення стічних вод відносяться:

- концентрація стічних вод з наступним виділенням розчинених речовин;
- окислення органічних речовин, які забруднюють стічні води;
- вогнева переробка.

При концентруванні стічних вод з них виділяються мінеральні солі, а очищена вода використовується в зворотній системі водозабезпечення. Для концентрування розчинів використовуються методи випаровування, виморажування і кристалогідратний метод. В останньому випадку у стічну воду додають гідратуотворюючі агенти, наприклад, пропан, хлор, хладон, діоксид вуглецю тощо. Частина молекул води входить до складу гідратуотворюючих агентів, при цьому концентрація домішок зростає.

При *біологічному методі* очищення стічних вод органічні і неорганічні забруднювачі видаляються завдяки здатності деяких мікроорганізмів жити в забруднювачах стічних вод речовинами в процесі своєї життєдіяльності. Основний процес – це біологічне окислення сукупністю різних бактерій, найпростіших водоростей, грибів тощо.

Очищення стічних вод проводять в аеробних і анаеробних умовах. Оптимальною температурою для здійснення аеробного процесу вважається 20-30°C. Для цього в середовищі необхідно підтримувати достатню концентрацію органічного вуглецю, азоту і фосфору. Концентрація розчинного кисню повинна бути не менше 2 мг/л.

До природних методів очищення відносяться ґрунтові методи і очищення в біологічних ставках. Очищення стічних вод в цьому випадку відбувається під дією ґрунтової мікрофлори, сонця повітря і під впливом життєдіяльності рослин. При штучній аерації в нижню частину ставка подають повітря.

Ми у своїх дослідженнях користуємося прикладами розрахунків очищення виробничих стічних вод на залізничних підприємствах з допомогою механічних і фізико-хімічних методів очищення, проводиться також оцінка ефективності їх роботи.

Перелічимо лише деякі з цих прикладів.

1. Визначення необхідного ступеню очищення стічної води за кількістю завислих речовин. Це дослідження проводиться для визначення необхідного очищення стічної води від забруднюючих завислих домішок з метою вирахування кінцевої концентрації забруднень у стічній воді після очищення перед її скидом у водойму. Кінцева концентрація завислих речовин в стічних водах перед скидом у водойму ми вираховуємо за певною формулою.

2. Визначення основних розмірів нафтовловлювачів у зворотній системі водозабезпечення промислово-пропарювальної станції на залізничному транспорті. Для очищення стічних вод, які містять нафту і нафтопродукти, при концентраціях понад 100 мг/л ми застосовували нафтовловлювачі, які мають вигляд прямокутних, витягнутих у довжину резервуарів. У них відбувається розділ нафти і води за рахунок різниці їх густини. Нафта і нафтопродукти піднімається до поверхні, а завислі домішки у стічній воді осідають на дно.

3. Визначення розмірів і ефективності очищення пластинчастого відстійника для видалення із стічної води завислих речовин із заданою гідравлічною крупністю. Первинні відстійники застосовують для видалення із стічної води нерозчинних речовин, які під дією гравітаційних сил осідають на дно відстійника. Для підвищення ефективності відстоювання процес осаджування рекомендується проводити в тонкому шарі рідини. Для реалізації цього методу на практиці використовують трубчасті або пластинчасті відстійники, в яких за рахунок малої глибини процес відстоювання протікає за короткий час (4-10 хвилин), що дозволяє зменшити розміри відстійника.

4. Визначення розмірів і часу роботи вертикального напірного фільтра із зернистим завантаженням для очищення стічної води від звисів. Для очищення води від механічних домішок ми використовували в якості фільтруючого матеріалу кварцовий пісок, керамічну крихту, сульфовугілля, подрібнений антрацит, а також зернисті штучні матеріали, наприклад, гранульований поліпропілен. Ці матеріали не повинні взаємодіяти з обробленою водою і не забруднювати її. При фільтруванні суспензій через фільтри відбувається механічна затримка твердих часток на вході в канали фільтруючого шару і адгезія цих часток на поверхні зерен шару. Фільтри з зернистим шаром поділяються на повільні і швидкісні. Повільні фільтри – це бетонні або цегляні резервуари з дренажним пристроєм, на якому розміщується фільтруючий шар. Швидкість фільтрування в них складає 0,1-0,3 м/год. Швидкісні фільтри забезпечують швидкість фільтрації від 5 до 12 м/год.

Висновок. Певна обмеженість у водних ресурсах в Україні вимагає втілення таких засад управління, комплексного використання методів зниження забруднень стічних вод, які б відповідали сучасним вимогам, особливу увагу необхідно при-

діляти питанням якості водних ресурсів, у тому числі забруднення стічних вод на залізничному транспорті. Особлива увага повинна приділятися екологічним оцінкам фізичних властивостей хімічного і гідробіологічного складу стічних вод. Починаючи з 1998 р. в Україні почався рух

у цьому напрямку, почала виконуватися програма «Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями», виконується низка міжнародних екологічних проектів під егідою ООН та Євросоюзу стосовно річок Дніпро, Тиса, Південних Буг та ін.

Література

1. Пилипчук О.Я., Висоцька Т.І., Пічкур Т.В. Сучасні шляхи зниження впливу залізничного транспорту на навколишнє середовище: проблеми очищення ґрунту від нафтопродуктів. Екологічні науки: Науково-практичний журнал. 2020. № 3(30). С. 113–118.
2. Пилипчук О.Я., Стрелко О.Г., Висоцька Т.І., Пічкур Т.В., Соловйова Л.М., Сорочинська О.Л. Еколого-економічна оцінка господарської діяльності залізничного транспорту. Екологічні науки: Науково-практичний журнал. 2021. № 7(34). С. 26–30.
3. Кривопішин О.М. Напрямки поліпшення екологічного стану залізниць у період їх реформування О. М. Кривопішин, Г. А. Ейтутіс. Економіст. 2007. № 6. С. 28–31.
4. Романенко В. Д Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями. Київ: Символ-Т. 1998. 28 с.
5. Хільчевський В.К. Водопостачання і водовідведення: гідроекологічні аспекти: Підручник. Київ: ВПЦ «Київський університет». 1999. 319 с.
6. Хільчевський В. К. До питання про класифікацію природних вод за мінералізацією. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2003. Т.5. С. 1–18.
7. Основні засади управління якістю водних ресурсів та їхня охорона / За ред. Хільчевського В. К. Київ: ВПЦ «Київський університет». 2015. 154 с.