

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний технічний університет

«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»



Co-funded by
the European Union



О.С. КОВРОВ, Д.В. КУЛІКОВА

**ЕКОЛОГІЧНІ СТРАТЕГІЇ ТА ІННОВАЦІЙНІ ПРИРОДООХОРОННІ
ТЕХНОЛОГІЇ В ЄС ТА УКРАЇНІ**

МОНОГРАФІЯ

Дніпро
Журфонд
2025

УДК 502:504
К56

Рекомендовано до видання вченою радою НТУ «Дніпровська політехніка» як монографія для фахівців і студентів спеціальностей 101 «Екологія», 183 «Технології захисту навколишнього середовища» (протокол № 3 від 13.03.2025 р.).

Рецензенти:

О.О. Медведєва, д-р техн. наук, старший науковий співробітник, т.в.о. завідувача відділу екології освоєння природних ресурсів Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України;

Ю.І. Ткаліч, д-р с-г. наук, професор кафедри загального землеробства та ґрунтознавства Дніпровського державного аграрно-економічного університету;

Р.О. Дичковський, д-р техн. наук, професор кафедри гірничої інженерії та освіти Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

Ковров О.С.

К56 Екологічні стратегії та інноваційні природоохоронні технології в ЄС та Україні: монографія / О.С. Ковров, Д.В. Кулікова; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро: Журфонд, 2025. – 236 с.

ISBN 978-966-934-675-9

Монографія присвячена ґрунтовному аналізу існуючих екологічних технологій з фокусом на очищення газопилових викидів та поліпшення якості атмосферного повітря, очищення стічних вод від органомінеральних домішок, інновації в галузі фітореMediaції та відновлення порушених гірничопромислових земель. Розглянуто сучасні методи очищення викидів в атмосферу з оцінкою ефективності роботи різних типів очисних споруд, розрахунки основних процесів очищення стічних вод і водопідготовки, технології фітореMediaції забруднених важкими металами земель із застосуванням сучасних екологічних підходів.

Монографія є результатом наукових досліджень і частиною дисципліни «Інноваційні екологічні технології в ЄС та Україні», розробленої та впровадженої в навчальний процес в рамках освітнього проекту «Стандарти Європейського союзу щодо екологічної реабілітації гірничопромислових земель» (EUSERML 101085715), який реалізовано в НТУ «Дніпровська політехніка» за підтримки програми Європейського Союзу Еразмус+.

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.

Фінансується Європейським Союзом. Однак висловлені погляди та думки належать лише авторам і не обов'язково відображають погляди Європейського Союзу чи Європейського виконавчого агентства з освіти та культури (EACEA). Ні Європейський Союз, ні орган, що надає гранти, не можуть нести за них відповідальності.

ISBN 978-966-934-675-9

© О.С. Ковров, Д.В. Кулікова, 2025
© Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка», 2025
© Журфонд, 2025

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. СТРАТЕГІЇ ЕКОЛОГІЧНОЇ ПОЛІТИКИ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ЄС ТА УКРАЇНІ.....	7
1.1. Основні засади державної екологічної політики України на період до 2030 року.....	7
1.2. Мета, принципи та інструменти державної екологічної політики відповідно до Цілей сталого розвитку.....	12
1.3. Стратегії і цілі сталого розвитку України на період до 2030 року...	20
1.4. Концепція реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року відповідно до конвенцій ООН та директив ЄС.	22
1.5. Головні пріоритети Європейського Союзу в галузі оцінки впливу на довкілля та стратегічної екологічної оцінки.....	27
1.6. Концепція реалізації державної політики у сфері промислового забруднення.....	40
1.7. Концепція боротьби з деградацією земель та опустелюванням.....	45
Перелік літературних джерел до розділу 1.....	49
РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ....	51
2.1. Методи очищення та знешкодження газопилових викидів.....	51
2.2. Засоби очищення газових викидів сухими пиловловлювачами.....	56
2.2.1. Камери осадження пилу.....	58
2.2.2. Інерційні пиловловлювачі.....	60
2.2.3. Циклони.....	62
2.2.4. Вихрові та динамічні пиловловлювачі.....	68
2.3. Засоби сухого очищення газових викидів від пилу фільтруванням..	71
2.3.1. Загальні відомості щодо процесу фільтрування та види фільтрів..	71
2.3.2. Волокнисті фільтри.....	74
2.3.3. Тканинні фільтри.....	77
2.3.4. Зернисті фільтри.....	79
2.4. Засоби мокрого очищення газових викидів від пилу.....	82
2.4.1. Класифікація обладнання для мокрого пиловловлювання.....	82
2.4.2. Порожністі газопромивачі.....	84
2.4.3. Насадкові газопромивачі.....	86
2.4.4. Тарільчасті газопромивачі (барботажні, пінні).....	87
2.4.5. Газопромивачі з рухомих шаром насадки.....	88
2.4.6. Ударно-інерційні газопромивачі.....	89
2.4.7. Газопромивачі відцентрової дії.....	91
2.4.8. Механічні газопромивачі.....	92
2.4.9. Швидкісні газопромивачі (скрубери Вентурі).....	93
2.5. Засоби електричного очищення газових викидів.....	97

2.5.1. Принцип дії електрофільтрів.....	97
2.5.2. Класифікація електрофільтрів.....	98
2.6. Інноваційні фітотехнології очищення повітря в містах.....	103
2.6.1. «Зелені» покрівлі (GREEN ROOFS).....	105
2.6.2. Вертикальне озеленення.....	115
Перелік літературних джерел до розділу 2.....	123
РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ ВОДНИХ РЕСУРСІВ.....	127
3.1. Удосконалення технології очищення забруднених нафтопродуктами стічних вод автотранспортних підприємств.....	127
3.2. Наукове обґрунтування та розробка технології переробки стічних вод гірничо-збагачувальних комбінатів.....	143
3.3. Удосконалення технологічної схеми очищення шахтних вод вугледобувних підприємств на основі їхнього доочищення методом фільтрування.....	162
3.4. Удосконалення технологічної схеми очищення стічних вод гальванічних цехів підприємств вугільного машинобудування.....	168
3.5. Обґрунтування доцільності модернізації споруд з очищення жировмісних стічних вод.....	178
Перелік літературних джерел до розділу 3.....	188
РОЗДІЛ 4. ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ.....	197
4.1. Прогнозування зсувонебезпечності та управління станом укосів на основі багатофакторних номограм.....	197
4.2. Оцінка зсувонебезпечності природного схилу поблизу водойми....	200
4.3. Закріплення схилів та техногенних укосів з використанням армуючих властивостей кореневих систем деревинної рослинності.....	208
4.4. Лісотехнічна рекультивация техногенних укосів та ландшафтів на основі екосистемного підходу.....	213
4.5. Розробка методики стабілізації техногенних укосів породних відвалів дерновими матами.....	219
4.6. Створення мікротерас для фіторекультивации укосів породних відвалів.....	223
Перелік літературних джерел до розділу 4.....	226
ВИСНОВКИ.....	229
ДОДАТКИ.....	231
Додаток А. Видове розмаїття рослинності породного відвалу шахти «Селидівська».....	232
Додаток Б. Якісна характеристика фітоценозів породного відвалу шахти «Селідовська».....	233
Додаток В. Результати експерименту по інтродукції дернових матів на поверхню схилів породного відвалу.....	234

ВСТУП

Забруднення довкілля шкідливими викидами твердих та газоподібних домішок, скидами промислових і господарсько-побутових стічних вод, відходами виробництва та споживання стало однією з нагальних проблем існування людства, що потребує запровадження інноваційних природоохоронних технологій. Сталий розвиток суспільства вимагає впровадження екологічно чистих технологій, які ефективні і пристосовані до конкретних умов середовища.

Україна є привабливою країною Східної Європи з точки зору мінеральних ресурсів та потенційних інвестицій. Країна має 5% світових запасів залізних руд (Кривбас і Полтавщина) і відіграє ключову роль у галузі видобутку та металургії чорних і кольорових металів, займаючи третє місце у світовому експорті чавуну та сталі з річним виробництвом 5-7 млн тон. Львівсько-Волинський і Донецький басейни визнані вугільною базою України. Крім залізної руди і вугілля, країна має багаті запаси марганцю, солі, природного газу, граніту, графіту, сірки, каоліну, титану, нікелю, магнію, ртуті, запаси урану. Нікопольський басейн має одне з найбільших у світі родовищ марганцевих руд. Країна займає четверте місце з виробництва рутилу і п'яте з виробництва титанових сплавів.

Проте, внаслідок гірничих робіт території потерпають від фізичного знищення навколишніх земель, утворення техногенних ландшафтів з кар'єрами та відвалами. Такі порушення можуть сприяти погіршенню екосистем місцевості та їх функцій для людського суспільства. В Україні значні площі займають розкриті породи та хвостосховища. Загальна площа зруйнованих гірничодобувних угідь перевищує 2800 км², з яких приблизно 1300 км² все ще експлуатуються, а 1500 км² підлягають рекультивациі. Загальна кількість відходів гірничого виробництва перевищує 25 млрд тон. Щорічно для потреб гірничодобувної промисловості відводиться 7-8 тис. га сільських і сільськогосподарських угідь.

Загальна площа промислових територій України становить близько 224,7 тис. га, які мають значний вплив на екологічний фон. Високий рівень індустріалізації призводить до серйозних екологічних проблем, пов'язаних з небезпечними відходами промислового та комунального секторів, шкідливими викидами металургійних і хімічних заводів, стічними водами, забрудненими важкими металами та органічними сполуками. Ці екологічні проблеми будуть посилюватися, що потребуватиме відповідних оцінок, прогнозів і дій.

Забруднення атмосферного повітря залишається однією з пріоритетних техногенних проблем, яка загострилась внаслідок російської воєнної агресії в Україні. Основними забруднювачами атмосферного повітря та джерелами викидів парникових газів в Україні є автотранспорт, підприємства теплоенергетики, добувної та переробної промисловості. У 2023 році загальний індекс забруднення атмосфери (ІЗА) в Україні становив 6,6, що відповідає підвищеному рівню забруднення. Порівняно з 2022 роком, цей показник залишився майже незмінним (6,5 у 2022 році). Високий рівень забруднення

повітря зафіксовано в таких містах, як Дніпро, Кам'янське, Краматорськ, Миколаїв, Одеса, Херсон, Львів, Луцьк, Вінниця, Київ, Кривий Ріг, Запоріжжя та Слов'янськ. Зокрема, у Дніпрі ІЗА становив 12,4, що вдвічі перевищує середній показник по країні. Основним забруднювачем є дрібнодисперсний пил фракції PM_{2.5}. Такий рівень забруднення може викликати дискомфорт при диханні у людей із захворюваннями легенів, серцево-судинними хворобами, а також у дітей та літніх людей.

Забруднення поверхневих водойм України стічними водами внаслідок технологічних процесів залишається на високому рівні. Підприємства різних галузей, зокрема хімічної, металургійної та нафтопереробної, часто скидають у водойми стоки, що містять важкі метали, нафтопродукти, феноли та інші токсичні речовини. Багато з цих стоків не проходять належного очищення. У багатьох населених пунктах України очисні споруди є застарілими або взагалі відсутніми, що призводить до скидання неочищених або недостатньо очищених стоків безпосередньо у водойми. Це спричиняє потрапляння до водойм органічних речовин, патогенних мікроорганізмів та хімічних сполук.

Враховуючи зростаючі рівні забруднення довкілля через зростання населення та незбалансоване використання природних ресурсів, постає нагальна потреба у ретельному аналізі взаємодії людини і навколишнього середовища, оцінці впливу на довкілля та застосовуванні інноваційних екологічних технологій. Ці технології спрямовані на відновлення екосистем, забезпечення екологічної безпеки та сталого розвитку постраждалих регіонів.

У монографії систематизовано сучасні екологічні технології з фокусом на очищення газопилових викидів та поліпшення якості атмосферного повітря, очищення стічних вод від органічно-мінеральних домішок, інновації в галузі фіторемедіації та відновлення порушених гірничопромислових земель. Розглянуто сучасні методи очищення викидів в атмосферу з оцінкою ефективності роботи різних типів очисних споруд, розрахунки основних процесів очищення стічних вод і водопідготовки, технології фіторемедіації забруднених важкими металами земель із застосуванням сучасних екологічних підходів.

Монографія є результатом наукових досліджень і частиною дисципліни «Інноваційні екологічні технології в ЄС та Україні», розробленої та впровадженої в навчальний процес в рамках освітнього проекту «Стандарти Європейського союзу щодо екологічної реабілітації гірничопромислових земель» (EUSERML 101085715), який реалізовано в НТУ «Дніпровська політехніка» за підтримки програми Європейського Союзу Еразмус+.

РОЗДІЛ 1. СТРАТЕГІЇ ЕКОЛОГІЧНОЇ ПОЛІТИКИ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ЄС ТА УКРАЇНІ

1.1. Основні засади державної екологічної політики України на період до 2030 року

Процеси глобалізації та суспільних трансформацій підвищили пріоритетність збереження довкілля, а отже, потребують від України вжиття термінових заходів. Протягом тривалого часу економічний розвиток держави супроводжувався незбалансованою експлуатацією природних ресурсів, низькою пріоритетністю питань захисту довкілля, що унеможливило досягнення збалансованого (сталого) розвитку.

Упровадження екосистемного підходу в галузеву політику та удосконалення системи інтегрованого екологічного управління, інтеграція екологічної політики до інших політик, обов'язкове врахування екологічної складової під час розроблення та затвердження документів державного планування та у процесі прийняття рішень про провадження господарської діяльності, яка може мати значний вплив на довкілля, зокрема екологічна модернізація промислових підприємств шляхом зниження ставки екологічного податку або у формі фіксованої річної суми компенсації (відшкодування податку), у поєднанні з поліпшенням екологічних характеристик продукції, є шляхом до сучасної системної екологічної політики, що реалізується у країнах-членах Європейського Союзу.

Впровадження системи управління екологічними ризиками та інноваційних екологічних технологій в усіх сферах національної економіки сприятиме запобіганню катастроф техногенного та екологічного характеру.

Якість атмосферного повітря. Забруднення атмосферного повітря є однією з найгостріших екологічних проблем. Незважаючи на певний спад виробництва в Україні, рівень забруднення атмосферного повітря великих міст і промислових регіонів залишається стабільно високим. Основними забруднювачами атмосферного повітря та джерелами викидів парникових газів в Україні є підприємства добувної і переробної промисловості, теплоенергетики, автотранспорт.

Фактично дві третини населення країни проживає на територіях, де стан атмосферного повітря не відповідає гігієнічним нормативам, що впливає на загальну захворюваність населення.

Основними причинами, що зумовлюють незадовільний стан якості атмосферного повітря в населених пунктах, спричиняють концентрацію парникових газів в атмосфері, є недотримання суб'єктами господарювання норм природоохоронного законодавства та низькі темпи впровадження новітніх технологій. З метою поліпшення якості атмосферного повітря та посилення реагування на наслідки зміни клімату і досягнення цілей сталого низьковуглецевого розвитку всіх галузей економіки Україна має забезпечити виконання ратифікованих міжнародних документів щодо протидії зміні клімату та поліпшення якості атмосферного повітря.

Зміна клімату. На початку XXI століття світовою спільнотою визнано, що зміна клімату є однією з основних проблем світового розвитку з потенційно серйозними загрозами для глобальної економіки та міжнародної безпеки внаслідок підвищення прямих і непрямих ризиків, пов'язаних з енергетичною безпекою, забезпеченням продовольством і питною водою, стабільним існуванням екосистем, ризиками для здоров'я і життя людей.

Рамковою конвенцією Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату [1] визначено основи для розв'язання зазначеної проблеми. Кіотським протоколом до Рамкової конвенції Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату [2], ратифікованим Законом України «Про ратифікацію Кіотського протоколу до Рамкової конвенції Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату» [3], визначено кількісні цілі із скорочення викидів парникових газів на період до 2020 року для країн розвинених та з перехідною економікою, до яких належить Україна.

У грудні 2015 року в місті Парижі була прийнята нова глобальна кліматична Паризька угода [4] до Рамкової конвенції Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату, ратифікована Законом України «Про ратифікацію Паризької угоди».

Відповідно до положень Паризької угоди Україна, як сторона угоди, зобов'язана зробити свій національно-визначений внесок для досягнення цілей сталого низьковуглецевого розвитку всіх галузей економіки та підвищення здатності адаптуватися до несприятливих наслідків зміни клімату, зокрема шляхом скорочення обсягу викидів парникових газів.

Основними джерелами викидів парникових газів в Україні є промисловість, енергетика і транспорт.

Охорона вод. Україна є однією з найменш водозабезпечених країн Європи, при цьому водокористування в країні здійснюється переважно нераціонально. Внаслідок токсичного, мікробіологічного та біогенного забруднення відбувається погіршення екологічного стану річкових басейнів, а також прибережних вод та територіальних вод Чорного і Азовського морів. Особливо слід відзначити незадовільний стан причорноморських лиманів, більшість з яких належать до природно-заповідного фонду і є унікальними рекреаційними ресурсами. Підземні води України в багатьох регіонах за своєю якістю не відповідають установленим вимогам до джерел водопостачання, що пов'язано передусім з антропогенним забрудненням, а інтенсивне їх використання призводить до виснаження горизонтів підземних вод.

Основними джерелами забруднення вод є скиди з промислових об'єктів, неналежний стан інфраструктури водовідведення та очисних споруд, недотримання норм водоохоронних зон, злив та дренажу токсичних речовин із земель сільськогосподарського призначення.

Основні речовини, що призводять до забруднення, – сполуки важких металів, сполуки азоту та фосфору, нафтопродукти, феноли, сульфати, поверхнево-активні речовини. Останнім часом зростає забруднення медичними відходами та мікропластиком, яке на сьогодні не контролюється.

Забруднення вод призводить до виникнення різноманітних захворювань населення, зниження загальної резистентності організму і, як наслідок, до підвищення рівня загальної захворюваності, зокрема на інфекційні та онкологічні захворювання.

Діюча нині система моніторингу вод є неефективною та застарілою, не відповідає сучасним європейським стандартам.

Система державного управління у сфері охорони вод потребує невідкладного реформування і переходу до інтегрованого управління водними ресурсами за басейновим принципом.

Охорона земель і ґрунтів. Сучасне використання земельних ресурсів України не відповідає вимогам раціонального природокористування. Стан земельних ресурсів України близький до критичного. Водною та вітровою ерозією уражені близько 57% території України, понад 12% території держави знаються підтоплення.

За різними критеріями забрудненими є близько 20% земель України. Щороку фіксується майже 23 тисячі випадків зсувів. Унаслідок абразії руйнується до 60% узбережжя Азовського і Чорного морів та 41% берегової лінії дніпровських водосховищ. Більш як 150 тисяч гектарів земель порушені внаслідок гірничодобувної та інших видів діяльності. Кількість підземних і поверхневих карстопроявів становить близько 27 тисяч.

Причини виникнення такої ситуації мають комплексний характер та історичні передумови. Особливо слід відзначити порушення екологічно збалансованого співвідношення між категоріями земель, зменшення території унікальних степових ділянок, надмірну розораність території та порушення природного процесу ґрунтоутворення, використання недосконалих технологій в сільському господарстві, промисловості, енергетиці, транспортній та інших галузях господарства, орієнтацію на досягнення коротко- та середньострокових економічних вигод, ігноруючи природоохоронну складову та негативні наслідки у довгостроковій перспективі.

Охорона лісів. Лісистість становить 15,9% території України. Ліси на території держави розміщені нерівномірно, від 3,7% в Запорізькій до 51,4% в Закарпатській областях. Оптимальним, за європейськими рекомендаціями, є показник лісистості 20%, для досягнення якого необхідно створити більше двох мільйонів гектарів нових лісів. Водночас створення нових лісів не повинне здійснюватися шляхом заліснення унікальних степових ділянок.

Основними причинами виникнення проблем у лісовій сфері є недосконалість системи управління та розвитку лісового господарства, відсутність правових та економічних механізмів, стимулювання запровадження природозберігаючих технологій, недосконалість податкової бази, а також нечіткість визначення правового статусу щодо управління землями під позахисними лісовими смугами.

Координація робіт з охорони та відтворення лісів здійснюється центральними (у лісах державної власності) та місцевими органами виконавчої влади (у лісах комунальної власності). Близько 0,8 млн гектарів лісових земель державної власності (у тому числі позахисні лісові смуги) не надані в

користування і віднесені до земель запасу. Нечітке визначення правового статусу щодо управління землями під полезахисними лісовими смугами призводить до істотного погіршення стану насаджень та їх загибелі.

Відсутність системи фінансування лісогосподарської діяльності, особливо у східних і південних регіонах України, призвела до припинення робіт із створення захисних лісових насаджень на малопродуктивних і деградованих землях та невиконання попереджувальних протипожежних заходів у лісах, що підвищило ризик виникнення лісових пожеж, осередків шкідників і хвороб лісу, вихання лісів і погіршення екологічної ситуації.

Надра. У сфері надрокористування в Україні існують системні проблеми, що становлять реальну загрозу економічній безпеці держави. На території України, яка становить 0,4% суходолу планети, виявлено до п'яти відсотків усіх мінерально-сировинних ресурсів земної кулі. В Україні виявлено понад 20 тисяч родовищ і рудопроявів з 95 видів корисних копалин, з яких близько 8 тисяч родовищ мають промислове значення і обліковуються Державним балансом запасів корисних копалин. Загальна кількість розроблених родовищ становить близько трьох тисяч. Водночас неефективне державне управління у цій сфері, відсутність інвестицій, використання видобувними підприємствами застарілого обладнання, зношеність якого становить до 70%, відтік кваліфікованих спеціалістів призвели до зниження якості виконання робіт у галузі.

Більшість корисних копалин в Україні видобувають у межах кількох головних гірничопромислових регіонів – Донецького, Криворізько-Нікопольського, Прикарпатського. Довготривале інтенсивне видобування надр у цих регіонах призвело до істотних змін геологічного середовища та виникнення надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру. Головними чинниками негативного впливу є надзвичайно висока концентрація гірничих підприємств, високий рівень виробленості переважної більшості родовищ, нелегальне видобування бурштину у значних масштабах, що призвело до порушення екосистем, недостатній обсяг фінансування робіт, пов'язаних із зменшенням впливу на навколишнє природне середовище, зумовленого розробкою родовищ та непроведенням рекультивативних робіт на ділянках, передусім Полісся.

Перехід до ресурсозберігаючих технологій, повноцінне впровадження оцінки впливу на довкілля, обов'язковості рекультивативних та невідворотності відповідальності за порушення природоохоронного законодавства мають стати основними напрямками збалансованого використання надр України.

Належне державне управління в галузі геологічного вивчення та використання надр, залучення інвестицій сприятимуть збільшенню видобутку гостродефіцитної сировини і підвищенню економічної незалежності та безпеки держави.

Екологічні проблеми Донбасу. Військовими діями, руйнацією інфраструктури та екологічно небезпечних підприємств на тимчасово окупованій території України порушено екологічну рівновагу, що призвело до небезпечних змін стану довкілля, спричинило шкоду здоров'ю та порушило

безпеку життєдіяльності для п'яти мільйонів населення на території близько 30 тисяч квадратних кілометрів.

Основними загрозами є: затоплення шахт та можливість виходу токсичних шахтних вод на поверхню, проникнення у підземні води; загроза потрапляння їх до річки Сіверський Донець та Азовського моря; припинення роботи очисних споруд та пошкодження сховищ токсичних та радіоактивних відходів; пошкодження територій природно-заповідного фонду; забруднення атмосферного повітря та ґрунтів хімічними продуктами внаслідок вибухів боєприпасів; знищення ландшафтів та рослинності у зв'язку з використанням військової техніки та будівництвом оборонних споруд; знищення значних площ лісів унаслідок викликаних військовими діями пожеж та неконтрольованих рубок.

Протягом останніх років на зазначених територіях практично відсутня можливість для оцінки пошкоджень природних комплексів та промислових об'єктів, проведення необхідних ремонтних і відновлювальних робіт, а також здійснення державного нагляду (контролю) у сфері охорони навколишнього природного середовища.

Проведення екологічного моніторингу стану території Донецької та Луганської областей, де органи державної влади тимчасово не здійснюють свої повноваження, з можливим залученням міжнародних екологічних експертів з метою оцінки екологічної ситуації, стає все більш актуальним.

Управління відходами. Значні обсяги накопичених в Україні відходів та відсутність ефективних заходів, спрямованих на запобігання їх утворенню, перероблення, утилізацію, знешкодження та екологічно безпечне видалення, поглиблюють екологічну кризу і стають гальмівним фактором розвитку національної економіки. Втрачається вагомий ресурсний потенціал, і водночас погіршується і так несприятлива екологічна ситуація.

Відсутність дієвого контролю призводить до масового утворення несанкціонованих звалищ та численних порушень законодавства під час поводження з небезпечними відходами. За відсутності роздільного збирання побутових відходів практично не розв'язується проблема поводження з небезпечними відходами, які містяться у складі побутових відходів.

У структурі загальних обсягів відходів, що утворилися в державі, відходи I-III класів небезпеки становлять менш як два відсотки загальної кількості.

В Україні частка гірничопромислових відходів (розкривних порід та продуктів збагачення корисних копалин) є високою – понад 75% усіх утворених відходів, з яких на відходи комунальної сфери припадає менш як два відсотки. Фактичні обсяги накопичених відходів перевищують ті, що відображені у статистичній звітності, оскільки збанкрутілі та непрацюючі підприємства, які раніше накопичили значні обсяги відходів, не враховуються під час проведення державних статистичних спостережень. Місця видалення відходів, які розташовані на території таких підприємств, негативно впливають на стан довкілля. Спостерігається вкрай низький рівень заміщення первинних природних ресурсів за рахунок використання відходів виробництва чи побічних продуктів (у тому числі шлаків).

На відміну від європейських держав в Україні дуже низький рівень перероблення та утилізації твердих побутових відходів і високий показник їх захоронення на полігонах. Значна частина полігонів перевантажена і не відповідає природоохоронним та санітарним нормам.

Значну загрозу для навколишнього природного середовища та здоров'я людини становлять відходи, що утворилися у процесі медичного обслуговування, переробки сировини тваринного походження, фармакологічної та косметологічної промисловості, які містять небезпечні патогенні та умовно патогенні мікроорганізми, а також відходи електричного та електронного обладнання.

Основною причиною такого стану є недосконала законодавча база, відсутність ефективної системи обліку та звітності, системи моніторингу у сфері управління відходами.

Розв'язання зазначеної проблеми є ключовим завданням у вирішенні питань енерго- та ресурснезалежності держави, економії природних матеріальних та енергетичних ресурсів і завданням державної екологічної політики [5].

1.2. Мета, принципи та інструменти державної екологічної політики відповідно до Цілей сталого розвитку

Метою державної екологічної політики є досягнення доброго стану довкілля шляхом запровадження екосистемного підходу до всіх напрямів соціально-економічного розвитку України з метою забезпечення конституційного права кожного громадянина України на чисте та безпечне довкілля, впровадження збалансованого природокористування і збереження та відновлення природних екосистем.

Основними засадами державної екологічної політики є:

- збереження такого стану кліматичної системи, який унеможливить підвищення ризиків для здоров'я та благополуччя людей і навколишнього природного середовища;
- досягнення Україною Цілей Сталого Розвитку (ЦСР), які були затверджені на Саміті Організації Об'єднаних Націй зі сталого розвитку у 2015 році;
- сприяння збалансованому (сталому) розвитку шляхом досягнення збалансованості складових розвитку (економічної, екологічної, соціальної), орієнтування на пріоритети збалансованого (сталого) розвитку;
- інтегрування екологічних вимог під час розроблення і затвердження документів державного планування, галузевого (секторального), регіонального та місцевого розвитку та у процесі прийняття рішень про провадження планованої діяльності об'єктів, які можуть мати значний вплив на довкілля;
- міжсекторальне партнерство та залучення заінтересованих сторін;
- запобігання виникненню надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру, що передбачає аналіз і прогнозування екологічних

ризиків, які ґрунтуються на результатах стратегічної екологічної оцінки, оцінки впливу на довкілля, а також комплексного моніторингу стану навколишнього природного середовища;

- забезпечення екологічної безпеки і підтримання екологічної рівноваги на території України, підвищення рівня екологічної безпеки в зоні відчуження;

- забезпечення невідворотності відповідальності за порушення природоохоронного законодавства;

- застосування принципів перестороги, превентивності (запобігання), пріоритетності усунення джерел шкоди довкіллю, «забруднювач платить»;

- відповідальність органів виконавчої влади та органів місцевого самоврядування за доступність, своєчасність і достовірність екологічної інформації;

- стимулювання державою вітчизняних суб'єктів господарювання, які здійснюють скорочення викидів парникових газів, зниження показників енергетичної ресурсоемності, модернізацію виробництва, спрямовану на зменшення негативного впливу на навколишнє природне середовище, у тому числі вдосконалення системи екологічного податку за забруднення довкілля та платежів за використання природних ресурсів;

- упровадження новітніх засобів і форм комунікацій та ефективної інформаційної політики у сфері охорони навколишнього природного середовища.

Основними інструментами реалізації державної екологічної політики є:

- міжсекторальне партнерство та залучення заінтересованих сторін – дасть змогу залучити до планування і реалізації політики усі заінтересовані сторони (органи державної влади та органи місцевого самоврядування, суб'єкти господарювання, приватний сектор, науковців, громадськість);

- інформування та комунікація – сприятимуть підвищенню рівня обізнаності громадськості про діяльність органів виконавчої влади у сфері охорони навколишнього природного середовища та ефективність впровадження ними нормативно-правових актів, стан навколишнього природного середовища та рівні його забруднення, принципи та методи сталого споживання і виробництва, захисту довкілля та дбайливого ставлення до живої природи;

- державне регулювання у сфері охорони навколишнього природного середовища – дасть змогу встановити науково обґрунтовані обмеження на використання природних ресурсів і забруднення навколишнього природного середовища та впровадити інтегрований дозвіл щодо регулювання забруднення навколишнього природного середовища відповідно до Директиви 2010/75/ЄС про промислове забруднення (комплексне запобігання і контроль за забрудненнями) [6];

- стратегічна екологічна оцінка та оцінка впливу на довкілля – дасть змогу запобігти негативному впливу на навколишнє природне середовище та встановити відповідність запланованої чи здійснюваної діяльності нормам і вимогам законодавства про охорону навколишнього природного середовища,

раціональне використання і відтворення природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки;

- системи екологічного управління, екологічний аудит, екологічна сертифікація та маркування продукції – дасть змогу підвищити екологічну обґрунтованість і ефективність діяльності суб'єктів господарювання, поліпшити екологічні характеристики продукції, встановити відповідність об'єктів екологічного аудиту вимогам природоохоронного законодавства та удосконалити управління суб'єктами господарювання, що провадять екологічно небезпечну діяльність;

- екологічний облік – забезпечить виявлення, реєстрацію, узагальнення, зберігання, оброблення та підготовку релевантної інформації про діяльність підприємства в природоохоронній сфері з метою передачі її внутрішнім і зовнішнім користувачам та сприятиме прийняттю управлінських рішень з урахуванням економічної ефективності, соціальної справедливості та екологічної цілісності;

- технічне регулювання та облік у сфері охорони навколишнього природного середовища, природокористування та забезпечення екологічної безпеки – дасть змогу впровадити науково обґрунтовані та безпечні для навколишнього природного середовища і здоров'я населення вимоги до процесів, товарів та послуг, які відповідатимуть європейським нормам/вимогам;

- законодавство України у сфері охорони навколишнього природного середовища, яке адаптоване до законодавства Європейського Союзу, – спрямоване на досягнення національних пріоритетів та забезпечення його наближення до відповідних директив Європейського Союзу впровадження багатосторонніх екологічних угод (конвенцій, протоколів тощо), стороною яких є Україна;

- освіта в інтересах збалансованого (сталого) розвитку – дасть змогу встановити методологічні основи та запровадити безперервну екологічну освіту. Випереджаючими темпами має розвиватися всеохоплююча екологічна просвіта та виховання підростаючого покоління шляхом підтримки діяльності позашкільних закладів освіти, еколого-натуралістичних центрів та природничих секцій центрів дітей і юнацтва та профільних громадських організацій;

- економічні та фінансові механізми, зокрема екологічна модернізація промислових підприємств шляхом зниження ставки екологічного податку або у формі фіксованої річної суми компенсації (відшкодування податку) – забезпечать стабільне фінансування природоохоронної діяльності та стимулювання розвитку екологічного підприємництва, зокрема виробництво продукції, виконання робіт і надання послуг природоохоронного призначення, а також сприятимуть створенню податкового, кредитного та інвестиційного клімату для залучення коштів міжнародних донорів та приватного капіталу в природоохоронну діяльність, створення суб'єктами господарювання систем

екологічного управління, впровадження більш чистого виробництва, технологій ресурсо- та енергозбереження, розширеного відтворення лісів;

- комплексний моніторинг стану навколишнього природного середовища і нагляд (контроль) у сфері охорони навколишнього природного середовища, раціонального використання, відтворення і охорони природних ресурсів – забезпечать перехід до системи запобігання правопорушенням і моніторингу стану довкілля, зменшення тиску на бізнес-середовище, широке залучення громадськості до природоохоронного контролю через побудову дієвої системи нагляду за дотриманням природоохоронного законодавства з урахуванням найкращих практик організації функціонування аналогічних інституцій у країнах - членах Європейського Союзу;

- міжнародне співробітництво у сфері охорони навколишнього природного середовища та забезпечення екологічної безпеки – забезпечить виконання міжнародних зобов'язань відповідно до багатосторонніх та двосторонніх міжнародних договорів України, розширення співробітництва з питань запобігання транскордонному забрудненню навколишнього природного середовища [5].

Стратегічні цілі та завдання. Державна екологічна політика спрямована на досягнення стратегічних цілей Національної екологічної політики України (рис. 1.1).



Рис. 1.1 – Стратегічні цілі Національної екологічної політики України (<https://mepr.gov.ua/diyalnist/natsionalna-ekologichna-polityka/>)

Ціль 1. Формування в суспільстві екологічних цінностей і засад сталого споживання та виробництва. Завданнями є:

- впровадження освіти в інтересах збалансованого (сталого) розвитку, екологічної освіти та виховання, просвітницької діяльності з метою формування в суспільстві екологічних цінностей і підвищення його екологічної свідомості;

- оцінка ставлення та підвищення рівня поінформованості суспільства щодо значення, переваг та інструментів сталого споживання і виробництва, стану і цінностей біорізноманіття та заходів, які необхідно здійснити для його збереження, відновлення і сталого використання;

- забезпечення практичної реалізації результатів сучасних та фундаментальних екологічних досліджень та безперервної взаємодії між науковцями та державними органами;

- врахування рекомендацій наукових установ екологічного спрямування при прийнятті управлінських рішень та підготовці проєктів нормативно-правових актів;

- розвиток партнерства між секторами суспільства з метою залучення до планування і реалізації природоохоронної політики усіх заінтересованих сторін;

- забезпечення участі громадськості у прийнятті управлінських рішень у сфері охорони навколишнього природного середовища та природокористування;

- забезпечення дотримання екологічних прав та обов'язків громадян, доступу громадськості до правосуддя з питань охорони навколишнього природного середовища та природокористування.

Ціль 2. Забезпечення сталого розвитку природно-ресурсного потенціалу України. Завданнями є:

- підготовка та впровадження Основних засад (стратегії) державної екологічної політики в збалансоване лісоуправління;

- упровадження інструментів сталого споживання і виробництва;

- вдосконалення системи кадастрів природних ресурсів, державної статистичної звітності з використання природних ресурсів та забруднення навколишнього природного середовища;

- створення екологічно та економічно обґрунтованої системи платежів за спеціальне використання природних ресурсів, у тому числі природних ресурсів з асиміляційним потенціалом;

- зменшення втрат біологічного та ландшафтного різноманіття, зокрема шляхом вдосконалення принципів формування екологічної мережі, її розширення і невиснажливого використання, а також збереження унікальних природних ландшафтів;

- збереження та відновлення чисельності видів природної флори та фауни, у тому числі мігруючих видів тварин, середовищ їх існування, рідкісних і таких, що перебувають під загрозою зникнення, видів тваринного і рослинного світу та типових природних рослинних угруповань, що підлягають охороні;

- протидія незаконному обігу та торгівлі об'єктами дикої фауни і флори, у тому числі введення заборони використання диких тварин у цирках, а також у

будь-якій іншій комерційній діяльності публічного характеру, крім стаціонарних зоопарків;

- збільшення та розширення територій природно-заповідного фонду (зокрема заповідних зон у національних природних парках та регіональних ландшафтних парках), створення на суходолі і в акваторії Чорного та Азовського морів і забезпечення збереження і функціонування репрезентативної та ефективно керованої системи територій та об'єктів природно-заповідного фонду, у тому числі транскордонних та європейського і міжнародного значення;

- зменшення негативного впливу процесів урбанізації на навколишнє природне середовище, припинення руйнування навколишнього природного середовища у межах міст, зокрема, недопущення необґрунтованого знищення зелених насаджень у межах міст під час виконання будівельних чи інших робіт, незаконного відведення земельних ділянок, зайнятих зеленими насадженнями, під будівництво;

- забезпечення збереження, відновлення та збалансованого використання рослинного світу України;

- забезпечення сталого управління водними ресурсами за басейновим принципом;

- забезпечення сталого використання та охорони земель, покращення стану уражених екосистем та сприяння досягненню нейтрального рівня деградації земель, підвищення рівня обізнаності населення, землевласників і землекористувачів щодо проблем деградації земель;

- перетворення сфери надрокористування в максимально прозору та інвестиційно привабливу галузь, що відповідає кращим міжнародним стандартам;

- стимулювання впровадження систем екологічного управління на підприємствах одночасно з поліпшенням екологічних характеристик продукції, у тому числі на основі міжнародних систем сертифікації та маркування;

- запровадження в Україні системи зелених закупівель;

- наукові дослідження зони відчуження і зони безумовного (обов'язкового) відселення;

- стимулювання розвитку інфраструктури управління відходами;

- впровадження технологій електронного урядування в екологічній сфері;

- Стимулювання оновлення зношених основних фондів промислової і транспортної інфраструктури та об'єктів житлово-комунального господарства шляхом прямих державних дотацій, здешевлення кредитів, часткової компенсації відсоткових ставок за кредитами тощо.

Ціль 3. Забезпечення інтеграції екологічної політики у процес прийняття рішень щодо соціально-економічного розвитку України. Завданнями є:

- розвиток галузевих стратегій щодо: покращення якості повітря; покращення якості води та управління водними ресурсами, включаючи морське середовище. Повне поступове припинення скидання у водні об'єкти неочищених та недостатньо очищених стічних вод і забезпечення відповідності

ступеня очищення стічних вод установленим нормативам та стандартам, а також запобігання забрудненню підземних вод;

- збереження озонового шару;
- запобігання зміні клімату та адаптація до неї;
- управління відходами та ресурсами, повернення у господарський обіг ресурсоцінних матеріалів;

- поступового обмеження використання окремих виробів з пластику у харчовій промисловості;

- забезпечення охорони та захисту природи;
- зменшення промислового забруднення та ризиків промислових аварій;
- збереження біорізноманіття та ландшафтів;
- контролю та запобігання біологічному забрудненню;
- поводження з небезпечними хімічними речовинами;
- забезпечення обов'язковості інтеграції екологічної складової до політик та/або програм загальнодержавного, галузевого (секторального), регіонального та місцевого розвитку, створення податкового, кредитного та інвестиційного клімату для залучення коштів міжнародних донорів та приватного капіталу у природоохоронну діяльність;

- усунення прямої залежності економічного зростання від збільшення використання природних ресурсів і енергії та підвищення рівня забруднення навколишнього природного середовища;

- стимулювання впровадження суб'єктами господарювання більш екологічно чистого, ресурсоефективного виробництва та екологічних інновацій, зокрема екологічної модернізації промислових підприємств шляхом зниження ставки екологічного податку або у формі фіксованої річної суми компенсації (відшкодування податку);

- упровадження в Україні сталого низьковуглецевого розвитку всіх галузей економіки;

- включення питань щодо цінності біорізноманіття в національні, місцеві, стратегічні, програмні документи та плани розвитку економіки та її галузей;

- Упровадження систем екологічного управління, розвитку добровільної екологічної сертифікації, маркування продукції, екологічного аудиту.

Ціль 4. Зниження екологічних ризиків з метою мінімізації їх впливу на екосистеми, соціально-економічний розвиток та здоров'я населення. Завданнями є:

- зниження рівня забруднення атмосферного повітря та вод;

- регулювання промислового вилову водних живих ресурсів у межах територіальних вод виключної (морської) економічної зони, континентального шельфу і внутрішніх водоймах України;

- зменшення антропогенного впливу на екосистеми Чорного та Азовського морів;

- покращення якості ґрунтів та впровадження ефективної системи підвищення їх родючості;

- запровадження управління екологічним ризиком на основі його моделювання в режимі реального часу із залученням новітніх інформаційних технологій з метою захисту природних екосистем, здоров'я та благополуччя населення;

- запобігання розповсюдженню інвазійних видів та контроль за появою та розповсюдженням таких видів у природних екосистемах, у тому числі морських;

- забезпечення та сприяння використанню сучасних пестицидів та агрохімікатів з мінімальним негативним впливом на флору, фауну та здоров'я людини;

- зменшення об'єму винесення радіонуклідів за межі зони відчуження і зони безумовного (обов'язкового) відселення;

- запобігання неконтрольованому вивільненню генетично модифікованих організмів у навколишнє природне середовище;

- формування екологічної складової державної системи захисту критичної інфраструктури України;

- стимулювання заміщення первинних природних ресурсів за рахунок використання відходів виробництва чи побічних продуктів, у тому числі шлаків;

- упровадження сталої системи управління відходами та небезпечними хімічними речовинами;

- розв'язання екологічних проблем, відновлення та збереження навколишнього природного середовища Донбасу.

Ціль 5. Удосконалення та розвиток державної системи природоохоронного управління. Завданнями є:

- упровадження принципів належного екологічного врядування, підтримка постійного діалогу із заінтересованими сторонами щодо підготовки та прийняття стратегічних рішень;

- укріплення інституційної спроможності щодо планування, моніторингу та оцінки ефективності впровадження екологічної політики;

- запровадження екологічного обліку для оцінки ефективності політики та управління;

- розвиток і вдосконалення природоохоронного законодавства та підвищення рівня його дотримання, включаючи наближення законодавства України до права (acquis) Європейського Союзу;

- посилення відповідальності за шкоду, заподіяну довкіллю, відповідно до міжнародних зобов'язань України;

- забезпечення науково-інформаційної та інноваційної підтримки процесу прийняття управлінських рішень;

- кіберзахист відповідних екологічних інформаційних ресурсів, систем, баз даних;

- посилення спроможностей природоохоронного управління у проведенні комплексного моніторингу стану навколишнього природного середовища та

державного контролю у сфері охорони навколишнього природного середовища, раціонального використання, відтворення і охорони природних ресурсів;

- розмежування функцій з охорони навколишнього природного середовища та господарської діяльності з використання природних ресурсів;

- забезпечення чіткого розподілу повноважень у сфері охорони навколишнього природного середовища на державному, регіональному та місцевому рівнях;

- забезпечення цільового бюджетного фінансування природоохоронних заходів та недержавного інвестування природоохоронних проєктів;

- удосконалення кадрової політики та професійної підготовки фахівців у системі охорони навколишнього природного середовища та природокористування.

Реалізація Основних засад (стратегії) державної екологічної політики дасть змогу:

- створити ефективну систему доступу до публічної інформації / даних, забезпечити дотримання екологічних прав громадськості на доступ до публічної інформації з питань охорони навколишнього природного середовища та підвищити рівень екологічної свідомості громадян України;

- поліпшити стан навколишнього природного середовища до більш безпечного для екосистем та населення рівня з урахуванням європейських вимог до якості навколишнього природного середовища;

- ліквідувати залежність процесу економічного зростання від збільшення використання природних ресурсів і енергії та підвищення рівня забруднення навколишнього природного середовища;

- зменшити втрати біо- та ландшафтного різноманіття і сформувати цілісну та репрезентативну екомережу;

- удосконалити систему екологічно невиснажливого використання природних ресурсів;

- мінімізувати забруднення ґрунтів небезпечними забруднюючими речовинами та відходами; забезпечити перехід до системи інтегрованого екологічного управління у сфері охорони навколишнього природного середовища та розвиток природоохоронної складової в галузях економіки;

- перейти на систему комплексного державного моніторингу стану навколишнього природного середовища та удосконалити систему інформаційного забезпечення процесу прийняття управлінських рішень [5].

1.3. Стратегії і цілі сталого розвитку України на період до 2030 року

З метою забезпечення національних інтересів України щодо сталого розвитку економіки, громадянського суспільства і держави для досягнення зростання рівня та якості життя населення, додержання конституційних прав і свобод людини і громадянина Президентом України підписано Указ «Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року» [7].

1. Підтримуючи проголошені резолюцією Генеральної Асамблеї Організації Об'єднаних Націй від 25 вересня 2015 року, №70/1 глобальні цілі сталого розвитку до 2030 року та результати їх адаптації з урахуванням специфіки розвитку України, викладені у Національній доповіді «Цілі сталого розвитку: Україна», забезпечувати дотримання Цілей сталого розвитку України на період до 2030 року:

- 1) подолання бідності;
- 2) подолання голоду, досягнення продовольчої безпеки, поліпшення харчування і сприяння сталому розвитку сільського господарства;
- 3) забезпечення здорового способу життя та сприяння благополуччю для всіх у будь-якому віці;
- 4) забезпечення всеохоплюючої і справедливої якісної освіти та заохочення можливості навчання впродовж усього життя для всіх;
- 5) забезпечення гендерної рівності, розширення прав і можливостей усіх жінок та дівчат;
- 6) забезпечення доступності та сталого управління водними ресурсами та санітарією;
- 7) забезпечення доступу до недорогих, надійних, стійких і сучасних джерел енергії для всіх;
- 8) сприяння поступальному, всеохоплюючому та сталому економічному зростанню, повній і продуктивній зайнятості та гідній праці для всіх;
- 9) створення стійкої інфраструктури, сприяння всеохоплюючій і сталій індустріалізації та інноваціям;
- 10) скорочення нерівності;
- 11) забезпечення відкритості, безпеки, життєстійкості й екологічної стійкості міст, інших населених пунктів;
- 12) забезпечення переходу до раціональних моделей споживання і виробництва;
- 13) вжиття невідкладних заходів щодо боротьби зі зміною клімату та її наслідками;
- 14) збереження та раціональне використання океанів, морів і морських ресурсів в інтересах сталого розвитку;
- 15) захист та відновлення екосистем суші та сприяння їх раціональному використанню, раціональне лісокористування, боротьба з опустелюванням, припинення і повернення назад (розвертання) процесу деградації земель та зупинка процесу втрати біорізноманіття;
- 16) сприяння побудові миролюбного и відкритого суспільства в інтересах сталого розвитку, забезпечення доступу до правосуддя для всіх і створення ефективних, підзвітних та заснованих на широкій участі інституцій на всіх рівнях;
- 17) зміцнення засобів здійснення й активізація роботи в рамках глобального партнерства в інтересах сталого розвитку.

Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року є орієнтирами для розроблення проєктів прогнозних і програмних документів, проєктів нормативно-правових актів з метою забезпечення збалансованості

економічного, соціального та екологічного вимірів сталого розвитку України [7].

1.4. Концепція реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року відповідно до конвенцій ООН та директив ЄС

На початку XXI століття світова спільнота визнала, що зміна клімату є однією з основних проблем світового розвитку з потенційно серйозними загрозами для глобальної економіки та міжнародної безпеки внаслідок підвищення прямих і непрямих ризиків, пов'язаних з енергетичною безпекою, забезпеченням продовольством і питною водою, стабільним існуванням екосистем, ризиків для здоров'я і життя людей.

Низька здатність країн адаптуватися до таких проявів зміни клімату, як повні, посухи, руйнування берегів і тривалі періоди з аномальною спекою, може призвести до соціальної та економічної нестабільності. За останні два десятиріччя питання щодо зміни клімату перетворилося в одну з найбільш гострих проблем світової економіки і політики у контексті вироблення стратегій скорочення викидів парникових газів і поступового переходу до низьковуглецевого розвитку всіх секторів економіки і складових життєдіяльності людини.

Здійснення термінових заходів щодо боротьби із зміною клімату та її наслідками є однією із цілей, сформульованих у новому порядку денному сталого розвитку на період до 2030 року, ухваленому на саміті сталого розвитку, що проходив 25 вересня 2015 року в Нью-Йорку.

Міжурядовою групою експертів із зміни клімату визначено, що антропогенний вплив на кліматичну систему є домінуючою причиною потепління, що спостерігається з середини XX століття. Для уникнення катастрофічних наслідків зміни клімату необхідно досягнути такого скорочення викидів парникових газів, щоб стримати зростання глобальної середньої температури значно нижче 2 °C понад доіндустріальні рівні.

На глобальному рівні вирішення питань, пов'язаних із зміною клімату, на цей час регулюється Рамковою конвенцією ООН про зміну клімату, Кіотським протоколом та Паризькою угодою [1]-[2], [4].

Як сторона Рамкової конвенції ООН про зміну клімату та Кіотського протоколу до неї Україна забезпечує виконання зобов'язань за цими міжнародними угодами, проте державна політика у сфері зміни клімату має фрагментарний характер і розглядається як складова виключно екологічної політики. Відсутність системного підходу до проблеми зміни клімату в цілому унеможливує прийняття управлінських рішень щодо забезпечення запобігання зміні клімату та адаптації до неї в масштабах усєї економіки країни.

Водночас виконання нових завдань, спричинених ратифікацією Україною Паризької угоди [4] та подальшою імплементацією її положень, потребує формування цілісної і послідовної державної політики у сфері зміни клімату відповідно до політики міжнародних організацій з урахуванням провідних

світових технологій і практики, а також особливостей національних умов, можливостей, потреб і пріоритетів.

Невідкладність розв'язання проблеми у сфері зміни клімату зумовлена:

- необхідністю удосконалення законодавчої бази у цій сфері;
- недостатньо чітким розподілом функцій, низьким рівнем координації дій та інституційної спроможності органів державної влади щодо планування і проведення дій у зазначеній сфері;
- неузгодженістю політики у сфері зміни клімату із законодавчими та іншими нормативно-правовими актами в інших соціально-економічних сферах;
- відсутністю системного підходу до створення наукового підґрунтя діяльності у сфері зміни клімату;
- недостатньою обізнаністю громадянського суспільства та органів державної влади з усіма аспектами проблеми зміни клімату та низьковуглецевого розвитку держави.

Формування і подальша реалізація цілісної державної політики у сфері зміни клімату, гармонізованої з міжнародним законодавством, є складним завданням через мультидисциплінарний характер проблеми. Політично, економічно і науково обґрунтовані рішення з питань зміни клімату повинні прийматися для всіх секторів економіки, включаючи енергетику, промисловість, агропромисловий комплекс, транспорт, водне, лісове і житлово-комунальне господарства, землекористування, а також охорону здоров'я, збереження і відтворення екосистем.

Мета і терміни реалізації Концепції. Метою Концепції є вдосконалення державної політики у сфері зміни клімату для досягнення сталого розвитку держави, створення правових та інституційних передумов для забезпечення поступового переходу до низьковуглецевого розвитку за умови економічної, енергетичної та екологічної безпеки і підвищення добробуту громадян.

Концепція визначає підстави для розроблення проєктів законів та інших нормативно-правових актів, стратегій та планів заходів щодо їх реалізації для різних складових державної політики у сфері зміни клімату.

Реалізація Концепції здійснюватиметься до 2030 року.

Напрями, шляхи і способи розв'язання проблеми. Основними напрямками реалізації Концепції є:

- зміцнення інституційної спроможності щодо формування і забезпечення реалізації державної політики у сфері зміни клімату;
- запобігання зміні клімату через скорочення антропогенних викидів і збільшення абсорбції парникових газів та забезпечення поступового переходу до низьковуглецевого розвитку держави;
- адаптація до зміни клімату, підвищення опірності та зниження ризиків, пов'язаних із зміною клімату.

Зміцнення інституційної спроможності щодо формування і забезпечення реалізації державної політики у сфері зміни клімату здійснюється шляхом:

- забезпечення узгодженості державної політики у сфері зміни клімату із законодавчими та іншими нормативно-правовими актами, які визначають

стратегічні рішення щодо досягнення сталого розвитку держави, розвитку енергетичного, промислового, житлово-комунального та інших секторів економіки, підвищення енергоефективності та використання відновлюваних джерел енергії;

- забезпечення ефективного розподілу функцій та дієвого механізму координації центральних та місцевих органів виконавчої влади, органів місцевого самоврядування щодо формування і реалізації складових державної політики у сфері зміни клімату відповідно до їх компетенції;

- забезпечення імплементації положень Угоди про асоціацію між Україною та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами [8], пов'язаних із зміною клімату;

- забезпечення виконання зобов'язань України щодо звітності за міжнародними угодами у сфері зміни клімату;

- визначення та впровадження дієвих механізмів інтеграції складових політики у сфері зміни клімату в регіональних стратегіях розвитку і планах заходів з їх реалізації з урахуванням пріоритетів розвитку районів відповідного регіону, а також міст, селищ і сіл;

- забезпечення мобілізації фінансових ресурсів на національному та місцевому рівнях, сприяння залученню зовнішніх і внутрішніх інвестицій;

- підвищення технічної та технологічної спроможності системи спостережень за кліматичною системою та виконання програми досліджень клімату України;

- сприяння створенню і постійному оновленню моделей прогнозування викидів парникових газів за різними сценаріями розвитку економіки держави та її окремих секторів;

- сприяння проведенню на постійній основі оцінки фактичних очікуваних змін клімату та їх наслідків, включаючи регіональний розподіл, визначення ризиків та вразливості до зміни клімату на рівні територіальних громад, секторів економіки;

- забезпечення рівного доступу громадян до інформації про всі аспекти розв'язання проблеми зміни клімату та низьковуглецевого розвитку держави, включаючи проведення освітньої та просвітницької роботи;

- забезпечення участі громадськості у прийнятті управлінських рішень у сфері зміни клімату;

- визначення та впровадження механізму державно-приватного партнерства у сфері зміни клімату;

- забезпечення реалізації національних ініціатив у сфері зміни клімату в ході міжнародних процесів і заходів, зокрема щодо запровадження екосистемних підходів.

Запобігання зміні клімату через скорочення антропогенних викидів і збільшення абсорбції парникових газів та забезпечення поступового переходу до низьковуглецевого розвитку держави здійснюється шляхом:

- скорочення антропогенних викидів парникових газів на виконання зобов'язань за міжнародними угодами у сфері зміни клімату та відповідно до

Очікуваного національно визначеного внеску України, схваленого розпорядженням Кабінету Міністрів України від 16 вересня 2015 року, №980, із забезпеченням подальшого перегляду рівня амбітності цього внеску з урахуванням показників соціально-економічного розвитку держави;

- зниження енергоємності валового внутрішнього продукту;
- підвищення частки енергії, виробленої з відновлюваних джерел енергії в загальній структурі енергоспоживання держави;
- збільшення обсягу поглинання парникових газів шляхом здійснення заходів у сфері лісового господарства та землекористування;
- створення і впровадження внутрішньої системи торгівлі квотами на викиди парникових газів відповідно до положень Директиви 2003/87/ЄС [9];
- визначення спеціально уповноваженого органу з питань торгівлі квотами на викиди парникових газів;
- створення і забезпечення функціонування системи моніторингу, звітності і верифікації викидів парникових газів;
- удосконалення підходів до екологічного оподаткування у частині викидів парникових газів включно із створенням механізму цільового використання надходжень;
- впровадження ринкових та неринкових механізмів, спрямованих на скорочення антропогенних викидів або збільшення абсорбції парникових газів;
- визначення ролі ядерної енергетики на підставі результатів ґрунтового аналізу можливих ризиків та переваг у досягненні цілей держави щодо скорочення антропогенних викидів парникових газів;
- розроблення і реалізація середньострокової стратегії низьковуглецевого розвитку України на період до 2030 року, скоординованої із стратегіями і планами розвитку секторів економіки та регіональними стратегіями розвитку.

Адаптація до зміни клімату, підвищення опірності та зниження ризиків, пов'язаних із зміною клімату здійснюється шляхом:

- розроблення і здійснення дієвих заходів з адаптації до зміни клімату та підвищення опірності до пов'язаних з кліматом ризиків і стихійних лих для сфер охорони здоров'я, життєдіяльності людей, секторів економіки та природних екосистем;
- розроблення та запровадження механізму формування адаптаційної політики за принципом від місцевого (регіонального) до національного рівня, приділяючи пріоритетну увагу діям тих громад і секторів економіки, які є найбільш вразливими до впливів зміни клімату;
- визначення та впровадження підходів і технологій, які передбачають збалансоване управління природними екосистемами;
- створення загальнодержавної системи управління ризиками, зумовленими зміною частоти та інтенсивності екстремальних явищ погоди і стихійних лих на території України, а також міграцією людей внаслідок кліматичних чинників;
- реалізація разом із сусідніми країнами-партнерами транскордонних проєктів з адаптації до зміни клімату;

- розроблення і реалізація середньострокової стратегії адаптації до зміни клімату України на період до 2030 року, скоординованої із стратегіями і планами розвитку секторів економіки та регіональними стратегіями розвитку.

Реалізація Концепції дасть змогу:

- удосконалити державну політику у сфері зміни клімату і посилити інституційну спроможність для її реалізації;

- забезпечити дотримання усіх зобов'язань України за Рамковою конвенцією ООН про зміну клімату [1] та іншими міжнародними угодами у сфері зміни клімату, Угодою про асоціацію між Україною та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами;

- забезпечити досягнення у 2030 році очікуваного національно визначеного внеску, який не перевищуватиме 60% рівня базового 1990 року, та передбачити перегляд рівня його амбітності з урахуванням показників соціально-економічного розвитку держави;

- забезпечити зниження енергоємності валового внутрішнього продукту на 20% та передбачити поступове наближення енергоємності до відповідних показників розвинутих держав із схожими кліматичними, географічними та економічними умовами;

- забезпечити досягнення цільового показника – національної індикативної мети енергозбереження у розмірі 9% середнього показника кінцевого внутрішнього енергоспоживання;

- забезпечити досягнення частки енергії, виробленої з відновлюваних джерел енергії в загальній структурі енергоспоживання держави, на рівні 11% та передбачити поступове збільшення такої частки;

- збільшити обсяг поглинання парникових газів шляхом здійснення заходів у лісовому господарстві та землекористуванні;

- забезпечити законодавче та нормативно-правове врегулювання ринкових і неринкових інструментів скорочення антропогенних викидів та збільшення абсорбції парникових газів, включаючи впровадження внутрішньої системи торгівлі квотами на викиди парникових газів та удосконалення екологічного оподаткування у частині викидів парникових газів;

- підвищити ефективність діяльності з адаптації до зміни клімату, спрямованої на мінімізацію поточних і очікуваних негативних наслідків та запровадження загальнодержавної системи управління ризиками, зумовленими зміною частоти та інтенсивності екстремальних явищ погоди і стихійного лиха на території України;

- посилити спроможність місцевих органів виконавчої влади та органів місцевого самоврядування до розроблення та здійснення заходів із запобігання зміні клімату та адаптації до неї;

- забезпечити системне наукове, методологічне та освітнє супроводження всіх аспектів діяльності у сфері зміни клімату;

- підвищити освітній та професійний рівень управлінських кадрів у сфері зміни клімату;
- підвищити рівень обізнаності громадянського суспільства з усіма аспектами проблеми зміни клімату та низьковуглецевого розвитку держави;
- підвищити рівень участі громадськості у прийнятті управлінських рішень у сфері зміни клімату;
- мобілізувати додаткові ресурси для реалізації державної політики у сфері зміни клімату в рамках державно-приватного партнерства, зокрема за рахунок внутрішніх і зовнішніх інвестицій;
- покращити імідж та підвищити роль України у міжнародних переговорах з питань зміни клімату;
- реалізувати середньострокові стратегії низьковуглецевого розвитку та адаптації до зміни клімату [10].

1.5. Головні пріоритети Європейського Союзу в галузі оцінки впливу на довкілля та стратегічної екологічної оцінки

Основні стратегії та орієнтири Європейського Союзу в галузі оцінки впливу на довкілля та стратегічної екологічної оцінки втілені у відповідних директивах більшість яких віддзеркалена у законодавстві України.

Директива 2011/92/ЄС «Про оцінку впливу окремих державних і приватних проєктів на навколишнє середовище» [11] має фокус на забезпечення високого рівня охорони довкілля і сприяння консолідації стосовно навколишнього середовища при підготовці та ухваленні проєктів та програм з урахуванням забезпечення стабільного розвитку при оцінюванні стану довкілля у випадку впровадження проєктів та програм, які можуть суттєво вплинути на стан навколишнього середовища.

Згідно зі статтею 191 Договору про функціонування Європейського Союзу, політика Союзу у сфері довкілля повинна ґрунтуватися на принципі перестороги та на принципах вжиття превентивних заходів, пріоритетного усунення джерела екологічної шкоди, а також на принципі «забруднювач платить». Вплив на довкілля повинен враховуватися на якомога ранішій стадії в усіх процесах технічного планування, вироблення й ухвалення рішень.

Принципи оцінювання впливу на довкілля необхідно гармонізувати, зокрема, визначивши проєкти, які підлягають оцінюванню, основні обов'язки організаторів і зміст оцінювання. Держави-члени можуть встановити суворіші правила для захисту довкілля.

Крім того, це необхідно для досягнення однієї із цілей Союзу в сфері захисту довкілля та покращення якості життя.

Екологічне законодавство Союзу містить положення, що дають змогу органам публічної влади та іншим органам ухвалювати рішення, які можуть мати значний вплив на довкілля, а також на здоров'я та добробут людини.

(6) Загальні принципи оцінювання впливу на довкілля повинні бути встановлені з метою доповнення та координування процедур надання дозволу

на реалізацію, які регулюють публічні та приватні проекти, що можуть мати значний вплив на довкілля.

(7) Дозвіл на реалізацію публічних і приватних проектів, які можуть мати значний вплив на довкілля, повинен надаватися тільки після проведення оцінювання потенційного значного впливу таких проектів на довкілля. Таке оцінювання повинне проводитися на основі відповідної інформації, наданої організатором, що може доповнюватися органами та громадськістю, яких може стосуватися відповідний проект.

(8) Проекти, які належать до певних типів, мають значний вплив на довкілля, і такі проекти, як правило, підлягають систематичному оцінюванню.

(9) Проекти інших типів можуть не мати значного впливу на довкілля в кожному конкретному випадку, і такі проекти підлягають оцінюванню, якщо держави-члени вважають, що вони можуть мати значний вплив на довкілля.

(10) Держави-члени можуть встановити порогові значення або критерії для визначення того, які з таких проектів підлягають оцінюванню з огляду на значимість їх впливу на довкілля. Від держав-членів не вимагається проводити експертизу проектів, які не досягають таких порогових значень або не відповідають таким критеріям, в індивідуальному порядку.

(11) При встановленні таких порогових значень або критеріїв чи здійсненні експертизи проектів в індивідуальному порядку для визначення того, які з проектів підлягають оцінюванню з огляду на їх значний вплив на довкілля, держави-члени повинні враховувати відповідні критерії відбору, визначені в цій Директиві. Згідно з принципом субсидіарності, держави-члени мають найкращі можливості для застосування таких критеріїв у конкретних випадках.

(12) Щодо проектів, які підлягають оцінюванню, необхідно надати певний мінімальний обсяг інформації стосовно проекту та його впливу.

(13) Необхідно встановити процедуру, щоб надати організатору можливість отримати висновок компетентних органів щодо змісту та обсягу інформації, яка повинна бути підготовлена та надана для оцінювання. Держави-члени, у рамках цієї процедури, можуть вимагати від організатора надання, між іншим, інформації про альтернативи проектам, стосовно яких він має намір подати заяву.

(14) Вплив проекту на довкілля необхідно оцінювати для врахування проблем із метою захисту здоров'я людини, сприяння покращенню якості життя шляхом поліпшення довкілля, забезпечення підтримки різноманіття видів і підтримання здатності екосистеми до відновлення як основного ресурсу для життя.

25 лютого 1991 року Європейське Співтовариство підписало Конвенцію про оцінку впливу на навколишнє середовище у транскордонному контексті і ратифікувало її 24 червня 1997 року [12].

Ефективна участь громадськості в ухваленні рішень дає змогу громадськості висловити, а виробнику рішень – врахувати думки та занепокоєння, які можуть бути релевантними для таких рішень, підвищуючи таким чином підзвітність і прозорість процесу вироблення й ухвалення рішень і

сприяючи громадській обізнаності про екологічні проблеми та підтримці ухвалених рішень.

Відповідно, необхідно сприяти участі, включно з участю асоціацій, організацій і груп, зокрема неурядових організацій, які сприяють охороні довкілля, у тому числі, між іншим, шляхом сприяння екологічній освіті населення.

25 червня 1998 року Європейське Співтовариство підписало Конвенцію ЄЕК ООН про доступ до інформації, участь громадськості у процесі прийняття рішень і доступ до правосуддя з питань, що стосуються довкілля (Орхуську конвенцію) і ратифікувало її 17 лютого 2005 року [13].

Серед цілей Орхуської конвенції є бажання гарантувати права на участь громадськості у виробленні й ухваленні рішень із питань, що стосуються довкілля, щоб сприяти захисту права на життя у навколишньому середовищі, яке є сприятливим для здоров'я та добробуту людини.

У статті 6 Орхуської конвенції передбачена участь громадськості в ухваленні рішень щодо особливих видів діяльності, які входять до переліку в Додатку I до зазначеної Конвенції, а також щодо видів діяльності, які не входять до такого переліку, але можуть мати значний вплив на довкілля.

У статті 9(2) і (4) Орхуської конвенції передбачений доступ до процедури оскарження в суді або до інших процедур оскарження матеріально-правової чи процесуальної законності рішень, дій або бездіяльності згідно з положеннями про участь громадськості у статті 6 зазначеної Конвенції.

Однак ця Директива не повинна застосовуватися до проєктів, характеристики яких ухвалюються спеціальним актом національного законодавства, оскільки цілі цієї Директиви, у тому числі щодо надання інформації, досягаються через законодавчий процес.

Більше того, у виняткових випадках може бути доцільно звільнити конкретний проєкт від застосування процедур оцінювання, встановлених у цій Директиві, за умови надання відповідної інформації Комісії та заінтересованій громадськості.

Оскільки цілі цієї Директиви не можуть бути достатньою мірою досягнуті державами-членами, а радше, з огляду на масштаб і наслідки дій, можуть бути краще досягнуті на рівні Союзу, Союз може ухвалювати інструменти відповідно до принципу субсидіарності, як визначено у статті 5 Договору про Європейський Союз. Згідно з принципом пропорційності, як визначено у згаданій статті, ця Директива не виходить за межі необхідного для досягнення зазначених цілей.

Директива 2011/92/ЄС застосовується до оцінювання впливу на довкілля публічних і приватних проєктів, які можуть мати значний вплив на довкілля.

Для цілей цієї Директиви застосовують такі терміни та означення:

(а) «проєкт» означає:

- виконання будівельних робіт або робіт зі встановлення інших установок або систем,

- інше втручання у природне середовище або ландшафт, у тому числі втручання, пов'язане з видобування корисних копалин;

(b) «організатор» означає заявника, який подає заяву про надання дозволу для приватного проєкту, або орган публічної влади, що ініціює проєкт;

(c) «дозвіл на реалізацію» означає рішення компетентного органу або органів, яке надає організатору право реалізувати проєкт;

(d) «громадськість» означає одну або більше фізичних чи юридичних осіб та, відповідно до національного законодавства або практики, їх асоціації, організації чи групи;

(e) «заінтересована громадськість» означає громадськість, на яку впливають чи можуть вплинути процедури вироблення й ухвалення рішень, зазначені у статті 2(2) Директиви 2011/92/ЄС, або яка має до них інтерес. Для цілей цього означення неурядові організації, які сприяють охороні довкілля та відповідають будь-яким вимогам згідно з національним правом, вважаються такими, що мають інтерес;

(p) «компетентний орган або органи» означає орган або органи, призначені державами-членами відповідальними за виконання обов'язків, які виникають із цієї Директиви;

(g) «оцінювання впливу на довкілля» означає процес, який включає:

(i) підготовку організатором звіту з оцінювання впливу на довкілля, як вказано у статті 5(1) і (2) Директиви 2011/92/ЄС;

(ii) проведення консультацій, як вказано у статті 6 та, у відповідних випадках, у статті 7 Директиви 2011/92/ЄС;

(iii) аналіз компетентним органом інформації, наведеної у звіті з оцінювання впливу на довкілля, і будь-якої додаткової інформації, наданої, за необхідності, організатором згідно зі статтею 5(3), а також будь-якої відповідної інформації, отриманої в результаті консультацій згідно зі статтями 6 і 7 Директиви 2011/92/ЄС;

(iv) надання компетентним органом мотивованого висновку щодо значного впливу проєкту на довкілля з урахуванням результатів аналізу, зазначеного у пункті (iii), та, у відповідних випадках, власного додаткового аналізу;

(v) включення мотивованого висновку компетентного органу до будь-яких рішень, зазначених у статті 8а Директиви 2011/92/ЄС.

3. Держави-члени, у кожному конкретному випадку і якщо це передбачено відповідно до національного права, можуть не застосовувати цю Директиву до проєктів або частин проєктів, єдиною ціллю яких є оборона, або до проєктів, єдиною ціллю яких є реагування на надзвичайні ситуації цивільного характеру, якщо вони вважають, що таке застосування негативно вплине на зазначені цілі.

Держави-члени повинні вжити всіх заходів, необхідних для забезпечення того, щоб до надання дозволу на реалізацію, проєкти, які можуть мати значний вплив на довкілля, з огляду, між іншим, на їхній характер, розмір або розташування, підпадали під дію вимоги щодо отримання дозволу на реалізацію та підлягали оцінюванню на предмет їх впливу на довкілля. Такі проєкти визначені у статті 4 Директиви 2011/92/ЄС.

2. Оцінювання впливу на довкілля може бути інтегроване до наявних процедур надання дозволу на реалізацію проєктів у державах-членах або, якщо

це неможливо, до інших процедур або до процедур, які підлягають встановленню для досягнення цілей цієї Директиви.

3. У випадку проєктів, для яких обов'язок проведення оцінювання впливу на довкілля одночасно виникає із Директиви [11] та з Директиви Ради 92/43/ЄЕС⁽⁵⁾ [14] та/або Директиви Європейського Парламенту і Ради 2009/147/ЄС⁽⁶⁾ [15], держави-члени повинні, у відповідних випадках, забезпечити наявність координованих та/або спільних процедур, які відповідають вимогам законодавства Союзу.

У випадку проєктів, для яких обов'язок проведення оцінювання впливу на довкілля одночасно виникає із цієї Директиви та із законодавства Союзу, іншого ніж директиви, зазначені в першому підпараграфі, держави-члени можуть забезпечити координовані та/або спільні процедури.

Згідно з координованою процедурою, зазначеною в першому та другому підпараграфі, держави-члени повинні докласти зусиль для координування різних окремих оцінювань впливу на довкілля конкретного проєкту, які вимагаються законодавством Союзу, шляхом призначення органу із цією метою, без обмеження будь-яких протилежних положень, які містяться в інших відповідних актах законодавства Союзу.

Згідно зі спільною процедурою, зазначеною в першому та другому підпараграфі, держави-члени повинні докласти зусиль для проведення єдиного оцінювання впливу на довкілля конкретного проєкту, що вимагається законодавством Союзу, без обмеження будь-яких протилежних положень, які містяться в інших відповідних актах законодавства Союзу.

Комісія повинна надати настанови щодо встановлення будь-яких координованих або спільних процедур для проєктів, які одночасно підлягають оцінюванню згідно із цією Директивою та директивами [14]-[17], або [6].

Держави-члени можуть, у виняткових випадках, звільнити конкретний проєкт від застосування положень, встановлених у цій Директиві, якщо застосування таких положень матиме негативний вплив на ціль проєкту, за умови досягнення цілей цієї Директиви.

У такому разі держави-члени повинні:

- (а) розглянути доцільність іншої форми оцінювання;
- (б) надати заінтересованій громадськості інформацію, отриману в ході інших форм оцінювання, зазначених у пункті (а), а також інформацію щодо рішень про надання звільнення та причин його надання;
- (с) повідомити Комісії, до надання дозволу, причини, які обґрунтовують надане звільнення, і надати їй інформацію, яка була надана, якщо застосовно, їхнім громадянам.

Комісія негайно направляє отримані документи іншим державам-членам.

Комісія повинна щорічно звітувати перед Європейським Парламентом і Радою про застосування цього параграфа.

5. Без обмеження статті 7, у випадках, коли проєкт ухвалений конкретним актом національного законодавства, держави-члени можуть звільнити такий проєкт від застосування положень щодо консультацій із громадськістю, встановлених у цій Директиві, за умови досягнення цілей цієї Директиви.

Держави-члени повинні повідомляти Комісію про будь-яке застосування звільнення, зазначеного в першому підпараграфі, кожні два роки починаючи з 16 травня 2017 року.

Стаття 3.

1. У ході оцінювання впливу на довкілля необхідно належним чином визначити, описати та оцінити, у кожному конкретному випадку, прямий і непрямий значний вплив проекту на такі фактори:

- (a) населення та здоров'я людини;
- (b) біорізноманіття, з особливою увагою до видів і оселищ, захищених згідно із Директивою 92/43/ЄС і Директивою 2009/147/ЄС;
- (c) земля, ґрунт, вода, повітря та клімат;
- (d) матеріальні цінності, культурна спадщина та ландшафт;
- (e) взаємозв'язок між факторами, зазначеними в пунктах (a)-(d).

2. Вплив, зазначений у параграфі 1, на фактори, визначені у вказаному параграфі, повинен включати очікувані наслідки, які виникають із вразливості проекту до ризиків значних аварій та/або катастроф, що є релевантними для відповідного проекту.

Стаття 4.

1. Згідно зі статтею 2(4), проекти, зазначені в Додатку I директиви 2011/92/ЄС, підлягають оцінюванню згідно зі статтями 5-10 2011/92/ЄС.

2. Згідно зі статтею 2(4), для проектів, зазначених у Додатку II, держави-члени повинні визначити, чи проект підлягає оцінюванню згідно зі статтями 5-10 2011/92/ЄС. Держави-члени визначають це за допомогою:

- (a) експертизи в індивідуальному порядку;
або
- (b) порогових значень чи критеріїв, встановлених відповідною державою-членом.

Держави-члени можуть вирішити застосовувати обидві процедури, зазначені в пунктах (a) та (b).

3. У ході проведення експертизи в індивідуальному порядку або встановлення порогових значень чи критеріїв для цілей параграфу 2, необхідно враховувати відповідні критерії відбору, визначені в Додатку III 2011/92/ЄС. Держави-члени можуть встановити порогові значення чи критерії для визначення випадків, коли проекти не підлягають визначенню згідно з параграфами 4 і 5 або оцінюванню впливу на довкілля, та/або порогові значення чи критерії для визначення випадків, коли проекти в будь-якому випадку підлягають оцінюванню впливу на довкілля без визначення, визначеного згідно з параграфами 4 та 5.

4. Якщо держави-члени вирішують вимагати визначення для проектів, зазначених у Додатку II 2011/92/ЄС, організатор повинен надати інформацію про характеристики проекту та його потенційний значний вплив на довкілля. Детальний перелік інформації, яка підлягає наданню, визначений у Додатку II.A. Організатор повинен враховувати, у відповідних випадках, доступні результати інших відповідних оцінювань впливу на довкілля, виконаних згідно із актами законодавства Союзу, іншими ніж ця Директива.

Організатор також може надати опис будь-яких особливостей проєкту та/або заходів, передбачених для уникнення або запобігання тому, що в іншому випадку могло би становити значний негативний вплив на довкілля.

5. Компетентний орган повинен здійснювати визначення на основі інформації, наданої організатором згідно з параграфом 4, з урахуванням, у відповідних випадках, результатів попередніх перевірок або оцінювань впливу на довкілля, проведених згідно з актами законодавства Союзу, іншими ніж ця Директива. Визначення повинне бути доступне для громадськості та:

(а) якщо ухвалено рішення про необхідність оцінювання впливу на довкілля, у ньому повинні бути вказані основні причини, у зв'язку з якими вимагається таке оцінювання, із зазначенням відповідних критеріїв, вказаних у Додатку III 2011/92/ЄС; або

(б) якщо ухвалено рішення про відсутність необхідності оцінювання впливу на довкілля, у ньому повинні бути вказані основні причини, у зв'язку з якими таке оцінювання не вимагається, із зазначенням відповідних критеріїв, вказаних у Додатку III 2011/92/ЄС, та, якщо це пропонується організатором, повинні бути вказані будь-які особливості проєкту та/або заходи, передбачені для уникнення або запобігання тому, що в іншому випадку могло би становити значний негативний вплив на довкілля.

6. Держави-члени повинні забезпечити, щоб компетентний орган здійснив визначення якомога швидше, протягом періоду часу, що не перевищує 90 днів з дати, коли організатор подав усю інформацію, що вимагається відповідно до параграфа 4. У виняткових випадках, які, наприклад, пов'язані із характером, складністю, розташуванням або розміром проєкту, компетентний орган може продовжити строк визначення; у такому разі компетентний орган повинен повідомити організатору в письмовій формі причини, які обґрунтовують продовження строку, і дату очікуваного визначення.

Стаття 5.

1. Якщо вимагається оцінювання впливу на довкілля, організатор повинен підготувати та подати звіт з оцінювання впливу на довкілля. Інформація, яка повинна бути подана організатором, повинна включати принаймні:

(а) опис проєкту, що містить інформацію про розташування, дизайн, розмір та інші відповідні характеристики проєкту;

(б) опис потенційного значного впливу проєкту на довкілля;

(с) опис особливостей проєкту та/або заходів, передбачених для уникнення, запобігання та зниження або, якщо це можливо, усунення потенційного значного негативного впливу на довкілля;

(д) опис обґрунтованих альтернатив, вивчених організатором, які є релевантними для проєкту та його специфічних характеристик, а також інформацію про основні причини вибору відповідного варіанта з урахуванням впливу проєкту на довкілля;

(е) резюме зазначеної в пунктах (а)-(д) інформації, що не містить технічних характеристик; та

(f) будь-яку додаткову інформацію, вказану в Додатку IV, яка є релевантною для специфічних характеристик конкретного проєкту або типу проєкту, а також для особливостей довкілля, які можуть зазнати впливу.

У разі надання висновку відповідно до параграфа 2 звіт з оцінювання впливу на довкілля повинен ґрунтуватися на такому висновку та включати інформацію, що може обґрунтовано вимагатися для підготовки мотивованого висновку про значний вплив проєкту на довкілля, з урахуванням поточних знань і методів оцінювання. З метою уникнення дублювання при підготовці звіту з оцінювання впливу на довкілля організатор повинен враховувати доступні результати інших відповідних оцінювань згідно із союзним або національним законодавством.

2. За запитом організатора, компетентний орган повинен, з урахуванням інформації, наданої організатором, зокрема даних про специфічні характеристики проєкту, включно з його розташуванням і технічною спроможністю, а також про його потенційний вплив на довкілля, надати висновок про обсяг і рівень деталізації інформації, яка повинна бути включена організатором до звіту з оцінювання впливу на довкілля згідно з параграфом 1 цієї статті. Перш ніж надати висновок, компетентний орган повинен провести консультації з органами, зазначеними у статті 6(1) 2011/92/ЄС.

Держави-члени також можуть вимагати від компетентних органів надання висновку, як зазначено в першому підпараграфі, незалежно від запиту організатора.

3. Щоб забезпечити повноту та якість звіту з оцінювання впливу на довкілля:

(a) організатор повинен забезпечити, щоб звіт з оцінювання впливу на довкілля був підготовлений компетентними експертами;

(b) компетентний орган повинен гарантувати, що він має достатні експертні знання для перевірки звіту з оцінювання впливу на довкілля або, за необхідності, має до них доступ; та

(c) за необхідності, компетентний орган може вимагати від організатора надання додаткової інформації, згідно з Додатком IV 2011/92/ЄС, яка прямо стосується підготовки мотивованого висновку про значний вплив проєкту на довкілля.

4. Держави-члени повинні, за необхідності, забезпечити, щоб будь-які органи, які володіють відповідною інформацією, зокрема, зазначеною у статті 3 2011/92/ЄС, надали таку інформацію організатору.

Стаття 6.

1. Держави-члени повинні вжити необхідних заходів, щоб забезпечити надання можливості органам, які можуть мати стосунок до проєкту з огляду на їхні спеціальні екологічні обов'язки або місцеву чи регіональну компетенцію, висловити їхню думку про інформацію, надану організатором, і про запит про надання дозволу на реалізацію, беручи до уваги, у відповідних випадках, випадки, зазначені у статті 8а(3). З цією метою держави-члени повинні призначити органи, з якими необхідно проводити консультації, у загальному або в індивідуальному порядку. Інформація, зібрана відповідно до статті 5,

повинна бути направлена таким органам. Детальні умови проведення консультацій повинні бути встановлені державами-членами.

2. Щоб забезпечити ефективну участь заінтересованої громадськості у процедурах вироблення й ухвалення рішень, громадськість повинна бути поінформована, в електронній формі та за допомогою публічних повідомлень чи інших належних засобів, про зазначені нижче питання на ранніх етапах процедур вироблення й ухвалення екологічних рішень, зазначених у статті 2(2), але не пізніше розумного строку, протягом якого може бути надана інформація:

(a) запит про надання дозволу на реалізацію;

(b) про те, що проект підлягає процедурі оцінювання впливу на довкілля та, у відповідних випадках, про застосування статті 7;

(c) дані про компетентні органи, відповідальні за ухвалення рішення, органи, від яких можна отримати відповідну інформацію, органи, яким можна подати коментарі або запитання, а також дані про графік надання коментарів або запитань;

(d) характер можливих рішень або, за наявності, проект рішення;

(e) дані про доступність інформації, зібраної відповідно до статті 5;

(f) дані про строки, місця і засоби надання відповідної інформації;

(g) дані про механізми участі громадськості згідно з параграфом 5 цієї статті.

3. Держави-члени повинні забезпечити, щоб громадськості в розумний строк була надана така інформація:

(a) будь-яка інформація, зібрана відновлено до статті 5;

(b) згідно з національним законодавством, основні звіти та рекомендації, надані компетентному органу або органам на момент інформування заінтересованої громадськості згідно з параграфом 2 цієї статті;

(c) згідно з положеннями Директиви Європейського Парламенту і Ради 2003/4/ЄС від 28 січня 2003 року про публічний доступ до екологічної інформації⁽⁷⁾, інформація, інша ніж та, що зазначена в параграфі 2 цієї статті, яка є релевантною для рішення згідно зі статтею 8 цієї Директиви і яка стала доступною тільки після інформування заінтересованої громадськості згідно з параграфом 2 цієї статті.

4. Заінтересованій громадськості необхідно надати завчасні та ефективні можливості участі у процедурах вироблення й ухвалення екологічних рішень, зазначених у статті 2(2), і для цих цілей вона повинна мати право надавати коментарі та висловлювати думки, коли для компетентного органу або органів доступні всі варіанти до ухвалення рішення щодо запиту про надання дозволу на реалізацію.

5. Детальні механізми інформування громадськості, наприклад, шляхом розміщення оголошень у певному радіусі або публікації в місцевих газетах, а також проведення консультацій із заінтересованою громадськістю, наприклад, шляхом письмового подання або опитування населення, повинні визначатися державами-членами.

Держави-члени повинні вжити необхідних заходів для забезпечення електронного доступу громадськості до інформації, принаймні через

центральний портал або легкодоступні пункти доступу, на відповідному адміністративному рівні.

6. Необхідно встановити розумні терміни проведення різних етапів, які передбачають достатній час для:

(а) інформування органів, зазначених у параграфі 1, і громадськості; та

(б) підготовки та ефективної участі органів, зазначених у параграфі 1, і заінтересованої громадськості у виробленні й ухваленні екологічних рішень згідно із положеннями цієї статті.

7. Строки проведення консультацій із заінтересованою громадськістю щодо звіту з оцінювання впливу на довкілля, зазначеного у статті 5(1), повинні становити не менше 30 днів.

Стаття 7.

1. Якщо державі-члену відомо, що проект може мати значний вплив на довкілля в іншій державі-члені, або якщо цього вимагає держава-член, що може зазнати значного впливу, держава-член, на території якої буде реалізований відповідний проект, повинна надіслати державі-члену, що зазнає впливу, якнайшвидше, але не пізніше строку інформування її власної громадськості, між іншим:

(а) опис проекту разом з будь-якою доступною інформацією про його можливий транскордонний вплив;

(б) інформацію про характер рішення, яке може бути ухвалене.

Держава-член, на території якої буде реалізований проект, повинна надати іншій державі-члену розумний строк для повідомлення про те, чи вона бажає брати участь у процедурах вироблення й ухвалення екологічних рішень, зазначених у статті 2(2), і може включити інформацію, зазначену в параграфі 2 цієї статті.

2. Якщо держава-член, що отримує інформацію відповідно до параграфу 1, вказує, що вона має намір брати участь у процедурах вироблення й ухвалення екологічних рішень, зазначених у статті 2(2), держава-член, на території якої буде реалізований проект, повинна, якщо вона ще цього не зробила, надіслати державі-члену, що зазнає впливу, інформацію, яка повинна бути повідомлена відповідно до статті 6(2) і надана згідно з пунктами (а) та (б) статті 6(3).

3. Відповідні держави-члени, тією мірою, якою це їх стосується, також повинні:

(а) забезпечити надання інформації, зазначеної в параграфах 1 і 2, у розумний строк органам, зазначеним у статті 6(1), і заінтересованій громадськості на території держави-члена, що може зазнати значного впливу;

(б) забезпечити надання органам, зазначеним у статті 6(1), і заінтересованій громадськості можливості, до надання дозволу на реалізацію проекту, у розумний строк направити їхній висновок щодо наданої інформації компетентному органу в державі-члені, на території якої буде реалізований проект.

4. Відповідні держави-члени повинні провести консультації стосовно, між іншим, потенційного транскордонного впливу проекту та передбачених заходів

для зниження або усунення такого впливу і повинні погодити розумну тривалість періоду консультацій.

Такі консультації можуть бути проведені через відповідний спільний орган.

5. Детальні умови імплементації параграфів 1-4, включно зі встановленням строків проведення консультацій, повинні визначатися відповідними державами-членами на основі умов і строків, зазначених у статті 6(5)-(7), і повинні давати змогу заінтересованій громадськості на території держави-члена, що зазнає впливу, взяти ефективну участь у процедурах вироблення й ухвалення екологічних рішень, зазначених у статті 2(2), щодо проєкту.

Стаття 8.

Результати консультацій та інформація, зібрана згідно зі статтями 5-7, повинні бути належним чином враховані у ході процедури надання дозволу на реалізацію.

Стаття 8а.

1. Рішення про надання дозволу на реалізацію повинне містити принаймні таку інформацію:

(а) мотивований висновок, зазначений у статті 1(2)(g)(iv);

(с) будь-які екологічні умови, які додаються до рішення, опис будь-яких особливостей проєкту та/або заходів, передбачених для уникнення, запобігання або зниження та, якщо це можливо, усунення значного негативного впливу на довкілля, а також, у відповідних випадках, заходи моніторингу.

2. У рішенні про відмову в наданні дозволу на реалізацію повинні бути вказані основні причини такої відмови.

3. Якщо держави-члени використовують процедури, зазначені у статті 2(2), інші ніж процедури надання дозволу на реалізацію, вимоги параграфів 1 і 2 цієї статті, у відповідних випадках, вважаються виконаними, коли будь-яке рішення, ухвалене в контексті таких процедур, містить інформацію, зазначену у вказаних параграфах, та існують механізми, які забезпечують можливість виконання вимог параграфа 6 цієї статті.

4. Згідно з вимогами, зазначеними в параграфі 1(b), держави-члени повинні забезпечити реалізацію організатором особливостей проєкту та/або заходів, передбачених для уникнення, запобігання або зниження та, якщо це можливо, усунення значного негативного впливу на довкілля, і повинні визначити процедури для моніторингу значного негативного впливу на довкілля.

Тип параметрів, які підлягають моніторингу, і тривалість моніторингу повинні бути пропорційними характеру, розташуванню та розміру проєкту, а також значимості його впливу на довкілля.

Якщо це доцільно, для уникнення дублювання моніторингу можна використовувати наявні механізми моніторингу, які впливають із законодавства Союзу, іншого ніж ця Директива, а також із національного законодавства.

5. Держави-члени повинні забезпечити, щоб компетентний орган ухвалював будь-які рішення, зазначені в параграфах 1-3, у розумний строк.

6. При ухваленні рішення про надання дозволу на реалізацію компетентний орган повинен переконатися, що мотивований висновок, зазначений у статті 1(2)(g)(iv), або будь-яке з рішень, зазначених у параграфі 3 цієї статті, досі актуальні. З цією метою держави-члени можуть встановити строки дії мотивованого висновку, зазначеного у статті 1(2)(g)(iv), або будь-якого з рішень, зазначеного в параграфі 3 цієї статті

Стаття 9.

1. У разі ухвалення рішення про надання або відмову в наданні дозволу на реалізацію компетентний орган або органи повинні оперативно повідомити про це громадськість і органи, зазначені у статті 6(1), згідно з національними процедурами, і повинні забезпечити надання зазначеної нижче інформації громадськості та органам, зазначеним у статті 6(1), з урахуванням, у відповідних випадках, випадків, зазначених у статті 8a(3):

(a) зміст рішення та будь-яких умов, які до нього додаються, як зазначено у статті 8a(1) та (2);

(b) основні причини та міркування, на яких ґрунтується рішення, включно з інформацією про процес участі громадськості. Сюди також належать узагальнені результати консультацій та інформація, зібрана відповідно до статей 5-7, і відомості про те, як ці результати були враховані або іншим чином опрацьовані, зокрема коментарі, отримані від держави-члена, що зазнає впливу, зазначеної у статті 7.

2. Компетентний орган або органи повинні повідомити будь-яку державу-член, з якою були проведені консультації відповідно до статті 7, направивши їй інформацію, зазначену в параграфі 1 цієї статті.

Держави-члени, з якими були проведені консультації, повинні забезпечити, щоб така інформація була в належний спосіб доведена до відома заінтересованої громадськості на їхній території.

Стаття 9a.

Держави-члени повинні забезпечити, щоб компетентний орган або органи об'єктивно виконували обов'язки, які виникають із цієї Директиви, і не допускали виникнення конфлікту інтересів.

Якщо компетентний орган також є організатором, держави-члени повинні принаймні забезпечити, у межах їхньої організації адміністративних повноважень, належне відокремлення конфліктуючих функцій при виконанні обов'язків, які виникають із цієї Директиви.

Стаття 10.

Без обмеження Директиви 2003/4/ЄС, положення цієї Директиви не повинні впливати на обов'язок компетентних органів дотримуватися обмежень, встановлених національними законами, підзаконними нормативно-правовими актами та адміністративними положеннями, і прийнятих юридичних практик, пов'язаних із комерційною та промисловою таємницею, включно з інтелектуальною власністю та захистом суспільного інтересу.

У разі застосування статті 7 передача інформації іншій державі-члену та отримання інформації іншою державою-членом підпадають під дію чинних обмежень у державі-члені, у якій пропонується проект.

Стаття 10а.

Держави-члени повинні встановити правила щодо санкцій за порушення національних положень, ухвалених відповідно до цієї Директиви. Такі передбачені санкції повинні бути дієвими, пропорційними і стримувальними.

Стаття 11.

1. Держави-члени повинні забезпечити, щоб, згідно з відповідною національною правовою системою, представники заінтересованої громадськості:

(а) які мають достатній інтерес, або у якості альтернативи;

(б) які зазнають порушення права, якщо це вимагається адміністративним процесуальним правом держави-члена в якості передумови,

мали доступ до процедури оскарження в суді або в іншому незалежному та неупередженому органі, встановленому законом, з метою оскарження матеріально-правової або процесуальної законності рішень, дій або бездіяльності згідно з положеннями цієї Директиви про участь громадськості.

2. Держави-члени повинні визначити, на якому етапі можуть бути оскаржені рішення, дії або бездіяльність.

3. Держави-члени повинні визначити, що становить достатній інтерес і порушення права, згідно із ціллю надання заінтересованій громадськості широкого доступу до правосуддя. З цієї метою інтерес будь-якої неурядової організації, що відповідає вимогам, зазначеним у статті 1(2), вважається достатнім для цілей пункту (а) параграфа 1 цієї статті. Такі організації також вважаються такими, що мають права, які можуть бути порушені, для цілей пункту (б) параграфа 1 цієї статті.

4. Положення цієї статті не повинні виключати можливість процедури попереднього оскарження в адміністративному органі та не повинні впливати на вимогу щодо вичерпання процедур адміністративного оскарження, перш ніж застосувати процедури судового оскарження, якщо така вимога існує згідно з національним правом.

Будь-яка така процедура повинна бути справедливою, рівноправною, своєчасною та не повинна бути занадто дорогою.

5. З метою сприяння дієвості положень цієї статті держави-члени повинні забезпечити надання громадськості практичної інформації про доступ до процедур адміністративного та судового оскарження.

Стаття 12.

1. Держави-члени та Комісія повинні обмінюватися інформацією про досвід, отриманий при застосуванні цієї Директиви.

2. Зокрема, кожні шість років починаючи з 16 травня 2017 року держави-члени повинні повідомляти Комісію, за наявності відповідних даних, про:

(а) кількість проєктів, зазначених у Додатках 1 та 2, які підлягають оцінюванню впливу на довкілля згідно зі статтями 5-10 Директиви 2011/92/ЄС;

(б) розподіл оцінювань впливу на довкілля за категоріями проєктів, визначеними в додатках I та II;

(с) кількість проєктів, зазначених у Додатку 2, які підлягають визначенню згідно зі статтею 4(2) Директиви 2011/92/ЄС;

(d) середню тривалість процесу оцінювання впливу на довкілля;

(e) загальні оцінки середніх прямих витрат на оцінювання впливу на довкілля, включно з впливом застосування цієї Директиви до МСП.

3. На основі такого обміну інформацією Комісія, за необхідності, подає додаткові пропозиції Європейському Парламенту і Раді, щоб забезпечити достатньо координоване застосування цієї Директиви [11].

1.6. Концепція реалізації державної політики у сфері промислового забруднення

Проблема, яка потребує розв'язання. Зменшення, запобігання та контроль викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря, скидів стічних вод з концентраціями забруднюючих речовин та контроль операцій у сфері управління відходами є основними завданнями Директиви 2010/75/ЄС [6] Європейського Парламенту та Ради від 24 листопада 2010 року про промислове забруднення, впровадження якої є зобов'язанням України в рамках Угоди про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони. На сьогодні забруднення навколишнього природного середовища на глобальному рівні спричиняє близько 16% передчасних смертей щороку, що в 15 разів перевищує кількість смертей у збройних конфліктах та війнах. Забруднення атмосферного повітря у 2016 році, за даними Інституту оцінки та вимірювання показників здоров'я (Institute for Health Metrics and Evaluation), призвело в Україні до понад 58 тис. смертей. Захворювання, викликані високим рівнем забруднення, спричиняють зменшення продуктивності праці та валового внутрішнього продукту в країнах з низьким та середнім доходом до 2%.

Існує ряд регуляторних та інституційних причин, що призводять до проблеми забруднення навколишнього природного середовища суб'єктами господарювання в Україні. Система дозволів у сфері охорони навколишнього природного середовища заснована на покомпонентному підході до регулювання впливу на навколишнє природне середовища: законодавством передбачена видача дозволів на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами, спеціальне водокористування, здійснення операцій у сфері поводження з відходами – документів дозвільного характеру у сфері охорони навколишнього природного середовища. Такий підхід не дає змоги враховувати кумулятивний вплив, що здійснює суб'єкт господарювання на навколишнє природне середовище, частково залишаючи поза увагою питання, пов'язані з охороною ґрунтів та забрудненням підземних вод, ефективним споживанням енергії та сировини, умовами виведення з експлуатації та відновленням території промислового майданчика до безпечного екологічного стану.

У рамках імплементації положень Директиви 2010/75/ЄС [6] обов'язковим є застосування суб'єктами господарювання найкращих доступних технологій та методів управління і досягнення встановлених відповідно до них гранично

допустимих обсягів забруднення. В Україні немає розроблених нормативно-правових актів, що встановлюють перелік найкращих доступних технологій та методів управління для регулювання окремих видів діяльності, а гранично допустимі концентрації та гранично допустимі скиди забруднюючих речовин не відповідають значенням Директиви 2010/75/ЄС [6].

Окремо заслуговують на увагу питання збирання, забезпечення достовірності та відкритості даних про фактичні обсяги промислового забруднення відповідно до міжнародних стандартів. На сьогодні відсутні ефективні інструменти для своєчасного та повного інформування громадськості про виконання суб'єктами господарювання умов документів дозвільного характеру у сфері охорони навколишнього природного середовища, в тому числі існує обмежений доступ до даних про фактичні обсяги промислового забруднення та до звітності суб'єкта господарювання.

Недостатній рівень здійснення контролю з боку держави за виконанням умов документів дозвільного характеру у сфері охорони навколишнього природного середовища та недієвий механізм забезпечення дотримання виконання вимог законодавства про охорону навколишнього природного середовища не заохочують суб'єктів господарювання до збільшення інвестицій у природоохоронні заходи.

Таким чином, невідкладність розв'язання проблеми промислового забруднення навколишнього природного середовища зумовлена:

- високими показниками смертності та захворюваності населення внаслідок забруднення навколишнього природного середовища промисловими об'єктами, що призводить до втрат вального внутрішнього продукту та виникнення місцевих соціальних конфліктів або зон соціальної напруженості;

- необхідністю виконання Україною Угоди про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони, і інших міжнародних зобов'язань;

- неефективністю системи державного нагляду (контролю) за дотриманням законодавства про охорону навколишнього природного середовища;

- низьким рівнем координації дій органів виконавчої влади, залучених до зазначених дозвільних процедур, та недостатньою інституційною спроможністю;

- відсутністю практики комплексного розгляду впливу суб'єктів господарювання на всі компоненти навколишнього природного середовища;

- відсутністю у законодавстві вимог застосування найкращих доступних технологій та методів управління для забезпечення захисту навколишнього природного середовища;

- адміністративним навантаженням на суб'єктів господарювання і на органи виконавчої влади, що здійснюють видачу документів дозвільного характеру у сфері охорони навколишнього природного середовища;

- недосконалістю ведення обліку обсягів промислового забруднення: обсягів та складу забруднюючих речовин, що викидаються в атмосферне повітря, обліку водокористування і скидання стічних вод та обліку відходів;

- відсутністю відкритої бази даних про фактичні обсяги промислового забруднення та її невідповідністю міжнародним стандартам і, як наслідок, обмеженою участю громадськості у прийнятті рішень щодо видачі документів дозвільного характеру у сфері охорони навколишнього природного середовища.

Мета і строки реалізації Концепції. Метою Концепції є створення відповідних правових та інституційних передумов для ефективного запобігання, зменшення і контролю промислового забруднення в Україні.

Завданнями Концепції є:

- підвищення ефективності державного регулювання у сфері промислового забруднення;

- зміцнення інституційної спроможності та забезпечення ефективної взаємодії органів, відповідальних за видачу документів дозвільного характеру у сфері охорони навколишнього природного середовища;

- удосконалення системи нагляду (контролю) за дотриманням суб'єктами господарювання вимог законодавства про охорону навколишнього природного середовища.

Впровадження Концепції здійснюватиметься до 2028 року.

Реалізація Концепції буде здійснюватися протягом трьох етапів.

Перший етап (2019-2021 роки):

- закріплення на законодавчому рівні засад інтегрованого запобігання, зменшення та контролю промислового забруднення. Необхідно розробити і прийняти закон України щодо інтегрованого запобігання, зменшення та контролю промислового забруднення, що визначатиме сферу регулювання та правові підстави видачі/переоформлення/анулювання інтегрованих, уніфікованих дозволів та реєстрації шляхом подання декларації для малих суб'єктів господарювання. Законопроект визначатиметься обов'язковість застосування суб'єктами господарювання найкращих доступних технологій та методів управління, перелік умов інтегрованого та уніфікованого дозволів, підстави для переоформлення та анулювання інтегрованих і уніфікованих дозволів, взаємозалежність процедури оцінки впливу на довкілля з процедурою отримання інтегрованого дозволу, ведення обліку обсягів промислового забруднення і звітність суб'єктів господарювання, участь громадськості та доступ до інформації про видачу/переоформлення інтегрованого дозволу, транскордонний вплив;

- розроблення та ведення реєстру (переліку) установок, експлуатація яких потребує отримання інтегрованого дозволу;

- створення електронної інформаційної системи, що міститиме інформацію про перелік інтегрованих дозволів, етапи проведення процедури отримання інтегрованого дозволу, участь громадськості у процесі прийняття рішень, результати перевірки дотримання умов інтегрованого дозволу суб'єктом господарювання;

- створення електронної інформаційної системи для звітності суб'єктів господарювання щодо даних про фактичні обсяги промислового забруднення;

- розроблення та затвердження Міндовкіллям переліку найкращих доступних технологій та методів управління для першої, другої та третьої

категорій видів діяльності Додатка 1 до Директиви 2010/75/ЄС [6], зокрема: «Енергетика», «Виробництво та обробка металів», «Промисловість з переробки мінеральної сировини»;

- розроблення та затвердження Міндовкіллям порядку отримання інтегрованих дозволів;
- оптимізація інституційних спроможностей Міндовкілля та створення структурного підрозділу, що забезпечуватиме формування державної політики у сфері промислового забруднення;
- розроблення та впровадження програм підвищення кваліфікації персоналу для структурного підрозділу, що забезпечуватиме формування державної політики у сфері промислового забруднення.

Другий етап (2022-2024 роки):

- розроблення та затвердження Міндовкіллям переліку найкращих доступних технологій та методів управління для четвертої і п'ятої категорій видів діяльності Додатка 1 до Директиви 2010/75/ЄС [6], зокрема: «Хімічна промисловість», «Поводження з відходами»;
- створення структурного підрозділу Міндовкілля, що забезпечуватиме підготовку матеріалів для видачі інтегрованого дозволу;
- впровадження пілотних проєктів з видачі інтегрованих дозволів для суб'єктів господарювання;
- розроблення та впровадження програм підвищення кваліфікації персоналу для структурного підрозділу Міндовкілля, що забезпечуватиме підготовку матеріалів для видачі інтегрованих дозволів.

Третій етап (2025-2028 роки):

- розроблення та затвердження Міндовкіллям переліку найкращих доступних технологій та методів управління для шостої категорії видів діяльності Додатка 1 до Директиви 2010/75/ЄС [6]: «Інші види діяльності»;
- продовження впровадження програм підвищення кваліфікації персоналу;
- удосконалення нормативно-правової бази у сфері промислового забруднення.

Шляхи і способи розв'язання проблеми. Завдання Концепції щодо підвищення ефективності державного регулювання у сфері промислового забруднення буде реалізовано шляхом:

- зміни підходів до видачі документів дозвільного характеру у сфері охорони навколишнього природного середовища, у тому числі через оптимізацію процедур видачі, застосування принципу «єдиного вікна» та об'єднання дозволів на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами, на спеціальне водокористування, на здійснення операцій у сфері поводження з відходами в один консолідований документ – інтегрований або уніфікований дозвіл;
- розроблення та ведення Міндовкіллям реєстру (переліку) установок, експлуатація яких потребує отримання інтегрованого дозволу;
- розроблення та затвердження Міндовкіллям переліку найкращих доступних технологій та методів управління.

Залежно від виду діяльності, виробничих потужностей або продуктивності виробництва суб'єкти господарювання провадитимуть діяльність за умови отримання документів дозвільного характеру, а саме інтегрованого дозволу або уніфікованого дозволу. Малі суб'єкти господарювання провадитимуть діяльність за умови реєстрації шляхом подання декларації.

Інтегрований дозвіл:

- видаватиметься Міндовкіллям суб'єктам господарювання, що провадять види діяльності, зазначені в Додатку 1 до Директиви 2010/75/ЄС [6], за умови, що граничні значення виробничої потужності або продуктивності виробництва суб'єкта господарювання перевищують величини, вказані у згаданому додатку;

- включатиме перелік заходів, необхідних для комплексного захисту, запобігання та мінімізації негативного впливу на навколишнє природне середовище з урахуванням економічної та технічної доцільності експлуатації установки;

- міститиме вимоги до: гранично допустимих викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря, спеціального водокористування (забору води з водних об'єктів із застосуванням споруд або технічних пристроїв, використання води та скидання забруднюючих речовин у водні об'єкти), скидання промислових стічних вод у системи централізованого водовідведення, операцій у сфері управління відходами, охорони ґрунтів, рівнів шумового впливу на навколишнє природне середовище, запахів, ефективності енергоспоживання та використання сировини, обліку та звітності про обсяги промислового забруднення, дій у разі виникнення аварій та надзвичайних ситуацій, виведення з експлуатації після закінчення строку служби обладнання або дострокового припинення виробництва та відновлення території промислового майданчика до безпечного стану;

- видаватиметься на основі переліку найкращих доступних технологій та методів управління, розроблення яких забезпечуватиме Міндовкілля.

Уніфікований дозвіл видаватиметься місцевими органами виконавчої влади на основі переліку вимог до обсягів промислового забруднення, встановлених відповідно до найкращих доступних технологій та методів управління, обліку обсягів промислового забруднення та звітності. Суб'єкти господарювання, які отримуватимуть уніфікований дозвіл, не матимуть зобов'язання застосовувати найкращі доступні технології та методи управління за умови виконання вимог національного законодавства до обсягів промислового забруднення.

Уніфіковані дозволи отримуватимуть суб'єкти господарювання, які провадять види діяльності, наведені у Додатку 1 до Директиви 2010/75/ЄС [6], за умови, що величина виробничої потужності або продуктивності виробництва установки не перевищує величин, вказаних у згаданому додатку. Уніфіковані дозволи також отримуватимуть суб'єкти господарювання, які провадять види діяльності, визначені у Додатку VII до Директиви 2010/75/ЄС [6], за умови перевищення граничних величин споживання розчинника на рік, вказаних у частині другій згаданого додатка.

Перелік видів діяльності, на які розповсюджується сфера застосування Концепції, наведено у розділах 2-6 Директиви 2010/75/ЄС [6] і відповідних додатках до Директиви, в тому числі на великі спалювальні установки, установки спалювання відходів та сумісного спалювання відходів, установки, які використовують органічні розчинники, та установки, що виробляють двоокис титану. Сфера застосування Концепції не поширюється на дослідницьку діяльність, випробування продукції та технологічних процесів.

Завдання Концепції щодо зміцнення інституційної спроможності та забезпечення ефективної взаємодії органів, відповідальних за видачу документів дозвільного характеру у сфері охорони навколишнього природного середовища, буде виконано шляхом:

- створення структурного підрозділу Міндовкілля, що забезпечуватиме формування державної політики у сфері промислового забруднення;
- визначення структурного підрозділу Міндовкілля, що забезпечуватиме підготовку матеріалів для видачі інтегрованих дозволів.

Передбачено розмежування функцій формування та реалізації державної політики у сфері промислового забруднення на рівні структурних підрозділів Міндовкілля, а в подальшому – на рівні центрального органу виконавчої влади у частині реалізації державної політики, у тому числі видачі документів дозвільного характеру та звітності суб'єктів господарювання.

Завдання Концепції щодо удосконалення нагляду (контролю) за дотриманням суб'єктами господарювання вимог законодавства про охорону навколишнього природного середовища буде реалізовано шляхом:

- створення відкритих електронних інформаційних систем (баз даних), що міститимуть: дані про фактичні обсяги промислового забруднення; перелік інтегрованих дозволів та інформацію про етапи проведення процедури отримання інтегрованого дозволу, результати проведення консультацій з громадськістю та перевірки виконання умов інтегрованого дозволу;
- приведення процедур ведення обліку обсягів промислового забруднення, звітності та контролю промислового забруднення у відповідність з вимогами законодавства ЄС [18].

1.7. Концепція боротьби з деградацією земель та опустелюванням

Проблема, яка потребує розв'язання. Деградація земель та опустелювання є одними з найбільш серйозних викликів для сталого розвитку країни, які спричиняють істотні проблеми екологічного і соціально-економічного характеру.

Найбільш масштабними деградаційними процесами є водна та вітрова ерозія ґрунтів (близько 57% території країни), підтоплення земель (приблизно 12%), підкислення (майже 18%), засолення та осолонцювання ґрунтів (більш як 6%).

За різними критеріями забрудненими є близько 20% українських земель. Щороку фіксується майже 23 тис. випадків зсувів. Внаслідок абразії руйнується до 60% узбережжя Азовського і Чорного морів та 41% берегової лінії

дніпровських водосховищ. Більш як 150 тис. гектарів земель порушені внаслідок гірничодобувної та інших видів діяльності. Кількість підземних і поверхневих карстопроявів становить близько 27 тисяч.

Унаслідок деградації земель протягом 1986-2010 років вміст гумусу зменшився на 0,22% і становить 3,14%. За цей період втрати гумусу в орному шарі становили 5500 кг на гектар. Щороку з урожаєм сільськогосподарських культур з кожного гектара безповоротно відчужуються 77-135 кг поживних речовин (азот, фосфор, калій).

Проблеми деградації земель та опустелювання загострюються через швидкі темпи зміни клімату, що супроводжується підвищенням середньорічних температур, повторюваності та інтенсивності екстремальних погодних явищ, у тому числі посух, які охоплюють раз у два – три роки від 10 до 30% території країни, а раз у 10-12 років – від 50 до 70% її загальної площі.

Деградація земель та опустелювання також призводять до втрат біорізноманіття, погіршення стану або зникнення водних об'єктів, загострення проблем водозабезпечення населення і галузей економіки та, як наслідок, погіршення умов життя людей.

Рівень бідності населення у сільській місцевості, яке традиційно більшою мірою залежить від стану використання і охорони земельних та інших природних ресурсів, протягом останніх 10 років є на 2-11% вищим, ніж у середньому в країні, що призводить до надмірної експлуатації природних ресурсів, їх подальшого виснаження та деградації.

Проблема зумовлена:

- необґрунтовано високим рівнем господарського (передусім сільськогосподарського) освоєння території та незбалансованим співвідношенням між земельними угіддями;
- порушенням науково обґрунтованих принципів землекористування та основ землеробства, у тому числі недотриманням сівозмін, зменшенням обсягу внесення агрохімікатів, перш за все добрив, включаючи органічні;
- нераціональним розміщенням виробничих і житлових об'єктів, зокрема порушенням принципу розташування водоемних виробництв виходячи з місцевих водних ресурсів;
- недостатньою площею земель природоохоронного, рекреаційного, оздоровчого та історико-культурного призначення;
- незадовільним станом забезпечення землеустрою в частині розроблення документації в галузі охорони земель та здійснення передбачених нею заходів, а також недостатнім обсягом наповнення відомостями системи Державного земельного кадастру;
- недостатнім забезпеченням функціонування державної системи моніторингу земель та довкілля, системи раннього оповіщення та моніторингу посух і гідрометеорологічної мережі спостережень;
- незадовільним рівнем матеріально-технічного та кадрового забезпечення органів державної влади у сфері управління земельними та іншими природними ресурсами;

- необхідністю більш широкого використання сучасних технологій, у тому числі геоінформаційних та дистанційного зондування землі, а також новітніх наукових розробок для прийняття та реалізації управлінських рішень;

- недостатнім обсягом фінансових ресурсів, що виділяються для розв'язання проблем у сфері охорони та збалансованого використання земель;

- відомчою і галузевою спрямованістю та недостатньою координованістю заходів у сфері боротьби з деградацією земель та опустелюванням без урахування багатофакторності їх причин та наслідків;

- недостатнім рівнем обізнаності населення, заінтересованості та спроможності власників земель і землекористувачів, кількість яких перевищила 25 млн осіб, у забезпеченні сталого використання земель та розв'язання проблем їх деградації.

Мета і строки реалізації Концепції. Метою Концепції є підвищення ефективності реалізації державної політики щодо боротьби з деградацією земель та опустелюванням, визначення пріоритетних завдань, зміцнення інституціональної спроможності та покращення координації діяльності уповноважених органів у відповідній сфері, а також забезпечення виконання Україною як стороною Конвенції ООН про боротьбу з опустелюванням у тих країнах, що потерпають від серйозної посухи та/або опустелювання, особливо в Африці (далі - Конвенція), міжнародних зобов'язань.

Можливі три варіанти розв'язання проблеми.

Згідно з першим варіантом планується продовження здійснення заходів, передбачених у рамках реалізації державної політики у сфері боротьби з деградацією земель та опустелюванням, що не дасть змоги підвищити її ефективність та забезпечити виконання Україною міжнародних зобов'язань як Сторони Конвенції в частині затвердження відповідного національного плану дій.

Другий варіант – затвердження Концепції і Державної цільової програми боротьби з деградацією земель та опустелюванням.

Недоліком зазначеного варіанта є неврахування багатофакторності причин і наслідків деградації земель та опустелювання, включаючи кліматичні зміни і соціально-економічні проблеми, а також його невідповідність вимогам рішень Президента України та Кабінету Міністрів України щодо економії державних коштів і недопущення втрат бюджету, у тому числі стосовно припинення підготовки проєктів нових державних цільових програм або внесення змін до затверджених цільових програм, що потребують додаткового фінансування з державного бюджету.

Третій, оптимальний варіант, що передбачає затвердження Концепції боротьби з деградацією земель та опустелюванням і відповідного національного плану дій, узгодженого з десятирічною Стратегією впровадження Конвенції, дасть змогу досягти мети Концепції з урахуванням зазначених вимог.

Шляхи і способи розв'язання проблеми. Основними шляхами розв'язання проблеми є:

- удосконалення структури земельних угідь та напрямів господарської діяльності з метою формування збалансованого співвідношення між земельними угіддями та забезпечення екологічної безпеки і рівноваги території, зокрема:

- збільшення площі сільськогосподарських угідь екстенсивного використання (сіножатей, пасовищ), лісів, полезахисних лісових смуг та інших захисних насаджень відповідно до науково обґрунтованих показників з урахуванням регіональних особливостей та природно-кліматичних умов;

- зменшення площі орних земель за рахунок ерозійно-небезпечних, деградованих, малопродуктивних та техногенно забруднених сільськогосподарських угідь, заплав і прибережних захисних смуг водних об'єктів;

- створення нових і збільшення площі наявних територій та об'єктів природно-заповідного фонду;

- створення умов для забезпечення формування екомережі;

- забезпечення широкого впровадження екологічно збалансованих технологій землекористування, у тому числі спрямованих на розвиток спеціальних сировинних зон та органічного сільськогосподарського виробництва;

- удосконалення економічних механізмів стимулювання землевласників та землекористувачів до провадження екологічно збалансованої діяльності, збереження ґрунтів та відтворення їх родючості;

- удосконалення державної системи моніторингу довкілля, у тому числі земель (включаючи великомасштабні ґрунтові обстеження та агрохімпаспортизацію), лісів і вод, удосконалення функціонування державних земельного, лісового та водного кадастрів, забезпечення землеустрою в частині розроблення відповідної документації в галузі охорони земель та здійснення передбачених нею заходів, а також лісовпорядкування;

- забезпечення належного функціонування і вдосконалення системи раннього оповіщення та моніторингу посух і гідрометеорологічної мережі спостережень;

- запровадження інтегрованого підходу до управління земельними та іншими природними ресурсами, підвищення його координованості та ефективності.

Проблему передбачається розв'язати шляхом виконання завдань за такими напрямами діяльності:

- удосконалення політики у сфері охорони і невиснажливого використання земельних та інших природних ресурсів, збереження ґрунтів та відтворення їх родючості, включаючи нормативно-правове забезпечення;

- розвиток та впровадження науково-технічних знань, здійснення науково обґрунтованих заходів;

- проведення пропагандистської, інформаційної та просвітницької роботи;

- зміцнення інституціональної спроможності уповноважених органів;

- створення умов для мобілізації фінансових ресурсів.

Перелік конкретних завдань (із зазначенням строків їх реалізації, відповідальних виконавців), а також індикатори (показники) оцінки стану досягнення цілей передбачається визначити у затвердженому відповідно до цієї Концепції Національному плані дій щодо боротьби з деградацією земель та опустелюванням.

У результаті реалізації Концепції і виконання Національного плану дій щодо боротьби з деградацією земель та опустелюванням планується *досягти таких стратегічних цілей:*

- покращення стану уражених екосистем, запобігання поширенню деградації земель та опустелювання;
- покращення умов життя населення уражених територій, у тому числі шляхом створення нових робочих місць;
- збереження і відновлення біорізноманіття, зменшення обсягу викидів парникових газів, адаптація до змін клімату завдяки здійсненню заходів з охорони і невиснажливого використання земельних та інших природних ресурсів, збереження ґрунтів та відтворення їх родючості;
- мобілізація додаткових ресурсів для боротьби з деградацією земель та опустелюванням, у тому числі шляхом налагодження ефективного партнерства між національними і міжнародними суб'єктами [19]- [20].

Перелік літературних джерел до розділу 1

1. Рамкова конвенція Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату. Конвенцію ратифіковано Законом №435/96-ВР від 29.10.96, ВВР, 1996, №50, ст. 277. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_044#Text.
2. Київський протокол до Рамкової конвенції Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату. Документ 995_801, Редакція від 17.11.2006. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_801#Text.
3. Закон України «Про ратифікацію Київського протоколу до Рамкової Конвенції Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату» від 4 лютого 2004 року №1430-IV. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1430-15#Text>.
4. Паризька угода. Документ 995_161. Угоду ратифіковано Законом №1469-VIII від 14.07.2016. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_161#n3.
5. Закон України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року». (Відомості Верховної Ради (ВВР), 2019, №16, ст.70). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text>.
6. Директива Європейського Парламенту і Ради 2010/75/ЄС від 24 листопада 2010 року про промислові викиди (інтегрований підхід до запобігання забрудненню та його контролю). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_004-10#Text.
7. Указ Президента України №722/2019 «Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року». <https://www.president.gov.ua/documents/7222019-29825>.
8. Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони. Угоду ратифіковано із заявою Законом №1678-VII від 16.09.2014. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_011#Text.

9. Директива Європейського Парламенту і Ради 2003/87/ЄС від 13 жовтня 2003 року про встановлення системи торгівлі квотами на викиди парникових газів у межах Союзу та внесення змін до Директиви Ради 96/61/ЄС. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_012-03#n5.

10. Концепція реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року. Ухвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 7 грудня 2016 року, №932-р. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/932-2016-%D1%80#Text>.

11. Директива Європейського Парламенту і Ради 2011/92/ЄС від 13 грудня 2011 року про оцінювання впливу деяких державних і приватних проєктів на довкілля (кодифікація). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_022-11#Text.

12. Конвенція про оцінку впливу на навколишнє середовище у транскордонному контексті. Ратифіковано Законом №534-XIV (534-14) від 19.03.99 зі змінами (995_001-04) від 04.06.2004. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_272#Text.

13. Конвенція про доступ до інформації, участь громадськості в процесі прийняття рішень та доступ до правосуддя з питань, що стосуються довкілля (Орхуська Конвенція). Документ 994_015. Конвенцію ратифіковано Законом №832-XIV (832-14) від 06.07.99. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_015#Text.

14. Директива Ради 92/43/ЄС від 21 травня 1992 року про збереження природних оселищ та дикої фауни і флори. Терміни та означення. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/987_004-92#n4.

15. Директива Європейського Парламенту і Ради 2009/147/ЄС від 30 листопада 2009 року про збереження диких птахів. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_001-09#Text.

16. Директива Європейського Парламенту і Ради 2000/60/ЄС від 23 жовтня 2000 року про встановлення рамок заходів Співтовариства в галузі водної політики. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_962#Text.

17. Директива Європейського Парламенту і Ради 2009/147/ЄС від 30 листопада 2009 року про збереження диких птахів. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_001-09#Text.

18. Концепція реалізації державної політики у сфері промислового забруднення. Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 22 травня 2019 року, №402-р. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/402-2019-%D1%80#Text>.

19. Концепція боротьби з деградацією земель та опустелюванням. Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 22 жовтня 2014 року, №1024-р. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1024-2014-%D1%80#Text>.

20. Національний план дій щодо боротьби з деградацією земель та опустелюванням. Затверджено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 30 березня 2016 року, №271-р. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/271-2016-%D1%80#Text>.

РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

2.1. Методи очищення та знешкодження газопилових викидів

На сучасному етапі для більшості промислових підприємств очищення газоповітряних викидів від забруднюючих речовин є одним із основних заходів щодо захисту повітряного басейну. Очищення викидів перед їхнім надходженням в атмосферу має найважливіше санітарно-гігієнічне, екологічне та економічне значення. Таким чином, при організації будь-якого виробництва необхідною стадією є промислове та санітарне очищення викидів забруднюючих речовин в атмосферу [1].

Промислове очищення – це очищення газу з метою подальшої переробки або повернення у виробництво відокремленого від газу або перетвореного на нешкідливий стан продукту. Цей вид очищення є необхідною стадією технологічного процесу.

Санітарне очищення – це очищення газу від залишкового вмісту в ньому забруднюючої речовини, при якому забезпечується дотримання встановлених нормативів ГДК у повітрі населених місць або виробничих приміщень. Санітарне очищення газоповітряних викидів проводиться перед надходженням відпрацьованих газів в атмосферне повітря, і саме на цій стадії необхідно передбачати можливість відбору проб газів з метою їхнього контролю на вміст шкідливих домішок.

Для забезпечення необхідної якості газів, що викидаються, слід використовувати установки очищення газів.

Установки очищення газів – це комплекс споруд, обладнання та апаратури, призначений для відокремлення від газу, що надходить із промислового джерела, або перетворення на нешкідливий стан речовин, що забруднюють атмосферу.

Обладнання, що застосовується для очищення газів, поділяється на *основне* та *допоміжне*. **Основне обладнання газоочисних споруд** – апарати очищення газу – елементи установок, в яких безпосередньо здійснюється виборчий процес вловлювання чи знешкодження речовин, що забруднюють атмосферу, а також деякі апарати, що їх доповнюють. Решту обладнання називають **допоміжним** – засоби для видалення та транспортування вловленого продукту, засоби контролю та автоматизації тощо. Основне та допоміжне обладнання компонується відповідно до технологічної схеми, розробка якої є основою технології видалення забруднюючих речовин з викидів.

Для вловлювання з газу пилу або окремих газоподібних компонентів в залежності від їхніх властивостей і властивостей газу, що очищується, використовують різні за конструкцією і принципом дії апарати. Залежно від способу відділення пилу від повітряного потоку застосовують обладнання для вловлювання пилу *сухим способом*, при якому відокремлені від повітря частинки пилу осаджуються на суху поверхню і обладнання для вловлювання пилу *мокрим способом*, в яких пил змочується, його маса стає більшою, і вона відокремлюється від газу під дією інерційних сил або захоплюється рідиною та

виводиться з апарату. Також використовується *електричний спосіб* знешкодження, який оснований на іонізації молекул газу електричним розрядом та електризації завислих у газі частинок.

Очищення викидів в атмосферу залежно від агрегатного стану вловлюваної або знешкоджуваної речовини складається з двох принципово різних процесів [2]:

– очищення від аерозолів (*пилловловлення*) – вилучення завислих твердих і рідких домішок, що містяться у викидах, (пил, дим, крапельки туману або бризок);

– *газоочищення* – вилучення або знешкодження тих чи інших газо- і пароутворюючих домішок.

В основу дії апаратів для очищення аерозольних викидів покладено певний фізичний механізм. У пилловловлювачах застосовують такі способи відділення завислих частинок: осадження в гравітаційному полі, осадження під дією сил інерції, осадження у відцентровому полі, фільтрування, осадження в електричному полі, мокре очищення тощо. Таким чином, за принципом дії апарати поділяють на такі групи:

Інерційні пилловловлювачі. В цих пилловловлювачах ефект очищення газу від пилу досягається в результаті використання інерційних сил, у тому числі відцентрових. До них відносяться: камери осадження пилу і колектори, жалюзійні пилловловлювачі і бризковловлювачі інерційної дії (пилові мішки), сухі та мокрі відцентрові циклони, відцентрові пилловловлювачі, статичні газопромивачі, барботажні апарати, швидкісні пилловловлювачі з трубами Венурі.

Пористі фільтри. В цій групі апаратів пилоочищення здійснюється при пропусканні газів через пористі матеріали. До них відносяться фільтри: тканинні, з волокнистих матеріалів, касетні, з насипним шаром зернистого матеріалу, з пористої пластмаси, кераміки, металокераміки та інших матеріалів.

Електрофільтри. В цих апаратах газ пропускається через електричне поле високої напруги, в результаті цього він іонізується, заряджає частинки пилу або рідини, що містяться в газі, які осаджуються на електродах електрофільтра. Апарати можуть бути мокрими та сухими.

Акустичні пилловловлювачі. В них газ піддається дії потужного звукового поля. В результаті дрібний пил, що міститься в газі, приходить в коливальний рух, частинки стикаються між собою й укрупнюються. Очищення газу від укрупненого пилу здійснюється в апаратах звичайного типу, встановлених послідовно за звуковим коагулятором.

Абсорбери. В цих апаратах з газу вловлюються окремі газоподібні компоненти, які розчиняються в рідині, що подається на зрошення апарату, або вступають із нею в хімічні реакції. До них відносяться скрубери з насадками, порожні скрубери, барботери, пінні апарати та турбулентні газопромивачі.

За галуззю застосування пилловловлююче обладнання можна поділити на дві групи: *грубого* та *тонкого* очищення газу.

До пиловловлювачів *грубого очищення газу* відносяться пристрої, що забезпечують затримання пилу з розміром частинок більше 10 мкм. В цю групу входять всі інерційні пиловловлювачі та деякі пористі фільтри.

До апаратів *тонкого очищення газу* відносяться фільтри, в яких затримуються частинки розміром менше 10 мкм. В цю групу входять більшість пористих фільтрів, електрофільтри та швидкісні пиловловлювачі з трубами Вентурі. Спочатку проводиться грубе очищення, а потім тонке.

Обладнання, що застосовується для очищення від пилу повітря в системах вентиляції, кондиціювання та повітряного опалення, а також для захисту від забруднення пилом повітряного середовища будівель, споруд та прилеглих до них територій, поділяється на такі типи:

- обладнання, що застосовується для очищення від завислих частинок пилу повітря, яке подається в приміщення системами припливної вентиляції, кондиціювання та повітряного опалення – *повітряні фільтри*;

- обладнання, що застосовується для очищення від пилу повітря, яке викидається в атмосферу системами витяжної вентиляції – *пиловловлювачі*.

Найбільш повна класифікація апаратів ґрунтується на використанні таких методів знепилювання:

- фізичні методи, включаючи механічний (аеродинамічний, гідродинамічний, фільтраційний способи), електричний, магнітний, акустичний, оптичний, іонізуючий, термічний;

- хімічний;

- фізико-хімічний;

- біохімічний;

- фізико-біохімічний.

Залежно від методу очищення пиловловлювачі та газоочисні апарати поділяються на сім груп [3]:

- перша група – сухі механічні пиловловлювачі (гравітаційні, сухі інерційні та ротаційні);

- друга група – мокрі пиловловлювачі (інерційні, конденсаційні), скрубери (механічні, ударно-інерційні, порожнисті, насадкові, відцентрові), скрубери Вентурі тощо;

- третя група – промислові фільтри (рукавні, волокнисті, кишенькові, зернисті), з регенерацією (імпульсним зворотним продуванням, ультразвуком, з механічним і віброструшуванням тощо);

- четверта група – електричні пиловловлювачі (сухі, мокрі, електрофільтри тощо);

- п'ята група – апарати сорбційного (хімічного) очищення газу від газоподібних домішок (адсорбери, абсорбери тощо);

- шоста група – апарати термічного та термokatалітичного очищення газів від газоподібних домішок (печі спалювання, каталітичні реактори);

- сьома група – апарати інших методів очищення.

Пиловловлювачі залежно від розмірів ефективно вловлюваних частинок та ефективності їхнього вловлювання доцільно поділяти на п'ять класів [2]. Вказана в табл. 2.1 ефективність дозволяє оцінити залишковий вміст пилу за

умови відокремлення від повітря тільки практично повністю вловлюваних частинок, розмір яких зазначений у другій графі цієї таблиці.

Таблиця 2.1 – Класифікація пиловловлювачів за їхньою ефективністю [2]

Клас пиловловлювача	Розмір ефективно вловлюваних пилових частинок, мкм	Ефективність в залежності від дисперсності пилу	
		група пилу за дисперсністю	ефективність, %
I	більш 0,3-0,5	V	<80
		IV	99,9-80
II	>2	IV	92-45
		III	99,9-92
III	>4	III	99-80
		II	99,9-99
IV	>8	II	99,9-95
		I	>99,9
V	>20	I	>99

В табл. 2.2 наведена номенклатура пиловловлювачів.

Вловлювання частинок розміром більше 2 мкм з пилу III групи легко здійснюється в пиловловлювачах типу Вентурі II класу, а також у численних різновидах тканинних і електричних пиловловлювачів II класу при звичайному режимі їхнього використання. З інерційних пиловловлювачів вимогам II класу можуть задовольняти також струменеві пиловловлювачі типу Ротоклон, ПВМ тощо.

Частинки розміром 4 мкм і більше вловлюються струминними пиловловлювачами. Вимогам III класу ефективності задовольняють також численні різновиди пиловловлювачів циклонного типу, що змочуються водою, і пінні пиловловлювачі. Електричні пиловловлювачі для вловлювання частинок даної крупності, як правило, не застосовуються.

Тканинні пиловловлювачі з рукавами з полегшених тканин іноді використовуються для вловлювання пилів II і III групи органічного і синтетичного походження, які внаслідок невеликої щільності та інших специфічних особливостей не можуть ефективно вловлюватися в інерційних пиловловлювачах (волокнистий пил текстильних підприємств, деякі різновиди деревного пилу тощо).

Пиловловлювачі IV класу представлені найпростішими мокрими апаратами, високоефективними циклонами СН, СКН, УЦ, СІОТ і батарейними циклонами. Пиловловлювачі IV класу вловлюють досить повно пил II групи, а деякі з них застосовуються і для вловлювання пилу III групи, хоча, наприклад,

ефективність циклонів при вловлюванні цементного пилу рідко перевищує 70%.

До пиловловлювачів V класу можна віднести циклони середньої ефективності великого діаметра, наприклад ЦН-24, що добре пристосовані до великих пилових навантажень, камери осадження пилу тощо.

Таблиця 2.2 – Номенклатура пиловловлювачів [2]

Вид вловлювача пилу	Тип вловлювача пилу	Клас вловлювача пилу за ефективністю	Галузь найбільш доцільного застосування пиловловлювачів				
			Група пилу за дисперсністю				
			I	II	III	IV	V
Гравітаційні	Камери осадження пилу	V	+	+	-	-	-
Інерційні	Циклони великої продуктивності (одиначні та групові)	V	+	+	-	-	-
	Циклони високої ефективності	IV	-	+	+	-	-
	Батарейні циклони	IV	-	+	+	-	-
	Відцентрові скрубери та циклони	IV	-	+	+	-	-
	Мокрі вловлювачі типу Ротоклон	II	-	-	+	+	-
	ПВМ	III	-	-	+	-	-
	Типу Вентурі	I	-	-	-	+	+
		II	-	-	+	+	-
		III	-	-	+	+	-
Скрубери	Пінні	II	-	-	+	+	-
Тканинні	Сітчасті (для вловлювання волокнистого пилу)	V	+	-	-	-	-
	Тканинні (рукавні)	I	-	-	-	+	+
		II	-	-	+	+	-
III		-	+	-	-	-	
Електричні	Електричні пластинчасті багатопільні	I	-	-	+	+	+
	Те ж саме, однопільні	II	-	-	+	-	-

В основі класифікації пиловловлювачів завислих частинок лежить принцип поділу апаратів на класи за розмірами ефективно вловлюваних частинок (табл. 2.3). Така класифікація надає істотну допомогу при виборі засобів пиловловлення.

Методи очищення обирають залежно від фізико-хімічних властивостей забруднюючої речовини, її агрегатного стану, концентрації тощо.

В цілому система очищення повітря і газів може містити обладнання кількох типів, з'єднаних послідовно в кілька ступенів у міру підвищення ефективності пиловловлення і відмінних за принципом дії, конструктивними особливостями і способом очищення.

Таблиця 2.3 – Класифікація пиловловлювачів за розмірами ефективно вловлюваних частинок пилу [3]

Клас пиловловлювача	I		II		III		IV		V
Мінімальний розмір ефективно вловлюваних частинок, мкм	0,3		2		4		8		20
Група пилу за дисперсністю	V	IV	IV	III	III	II	II	I	I
Медіанний діаметр частинок пилу, мкм	>1	1-10		10-40		40-120		<120	
Максимальний ступінь очищення,%	80	80-99	45-92	92-99	80-99	99-99,9	95-99,9	<99,9	<99

При проектуванні нової чи модернізації існуючої установки очищення газів слід прагнути повністю ізолювати джерело викиду забруднення повітря від докілья.

Іноді при цьому вдається знайти рішення, що ведуть не тільки до ізоляції джерела забруднення, але й до різкого скорочення кількості забруднюючих речовин, що викидаються.

2.2. Засоби очищення газових викидів сухими пиловловлювачами

Технологічні процеси очищення газових викидів сухими пиловловлювачами ґрунтуються на фізичних та хімічних властивостях забруднювачів та використанні основних фізичних закономірностей, внаслідок яких відбувається пиловловлювання.

Удосконалення технологічних процесів та розробка нових мало- й безвідходних технологій, що дозволяють вловлювати й утилізувати газові відходи, базується на використанні одного або декількох механізмів осадження завислих в газах частинок. Основними механізмами осадження завислих частинок є дія сил гравітації, інерції, дифузії, відцентрових сил та за рахунок сил зчеплення.

Переваги сухих механічних пиловловлювачів:

- простота конструкції, що визначає можливість їхнього виготовлення на неспеціалізованих підприємствах;
- для забезпечення робочих умов можна використовувати будь-який матеріал;
- відсутність рухомих частин в апараті;
- можливість вловлювання абразивних матеріалів;
- простота експлуатації;

- безвідмовність роботи при звичайних і високих температурах і тиску;
- сталість гідравлічного опору апаратів;
- можливість вилучення з газів пилу в сухому вигляді та рідини в нерозбавленому стані;
- можливість не зіпсувати вловлений продукт та повернути його у технологічний процес;
- відносно дешеві, в порівнянні з іншими апаратами;
- витрати енергії на роботу відносно малі, що обумовлено малим перепадом тиску при перебігу газу через пристрій.

Недоліком сухих пиловловлювачів є невисока ефективність вловлювання дрібнодисперсного пилу (60-80%).

Механічні пиловловлювачі використовують для попереднього очищення газів (першого ступеня) від крупнодисперсних частинок, розташовуючи їх послідовно з пристроями інших типів, щоб зменшити навантаження на останні. Це особливо необхідно при сильно запилених газових потоках.

В табл. 2.4 наведено характерні параметри сухих механічних пиловловлювачів.

Таблиця 2.4 – Характерні параметри сухих механічних пиловловлювачів [4]

Тип апарата	Максимальна продуктивність, м ³ /год	Ефективність вловлювання частинок пилу різного розміру, %	Гідравлічний опір, Па	Верхня межа температури газів, °С
Камера осадження пилу	залежить від площі осадження	80-90 (50 мкм)	50-130	350-550
Циклон	85000	50-80 (10 мкм)	250-1500	350-550
Батарейний циклон	170000	90 (5 мкм)	750-1500	350-550
Інерційний пиловловлювач	127000	90 (2 мкм)	750-1500	до 400
Вихровий пиловловлювач	30000	90 (2 мкм)	до 2000	до 250
Динамічний пиловловлювач	42500	90 (2 мкм)	750-1500	до 400

2.2.1. Камери осадження пилу

Камери осадження пилу (рис. 2.1) являють собою найпростіші апарати для вловлювання пилу. Їх застосовують для гравітаційного грубого очищення газових викидів від частинок пилу розміром 30-100 мкм [5]. Їх виготовляють у вигляді порожнистих камер круглого або прямокутного перетину з бункером внизу для збору пилу. Матеріалом для їхньої будови є цегла або збірний залізобетон, рідше сталь або деревина.

Принцип роботи камер ґрунтується на виведенні частинок пилу з газопилового потоку шляхом їхнього осадження під дією сили тяжіння. Їх застосовують для вловлювання великих частинок сировинних матеріалів після обортових цементних печей, печей для обпалювання магнезиту і доломіту тощо.

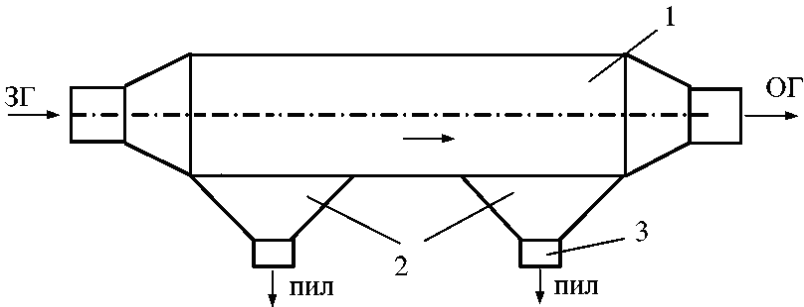


Рис. 2.1 – Принципова конструктивна схема камери осадження пилу:
1 – корпус; 2 – бункер; 3 – штуцер для видалення пилу;
ЗГ – запылений газ; ОГ – очищений газ

Наявність ланцюгової чи дротяної завіси, вертикальних чи горизонтальних відхиляючих перегородок до гравітаційного ефекту додає ефект інерційного осадження при обтіканні газовим потоком різних перешкод. В результаті чого збільшується ефективність роботи камер осадження пилу.

Основні переваги камер осадження пилу – простота конструкції, низька вартість, невеликі витрати енергії, незначний гідравлічний опір (50-100 Па), можливість вловлювання абразивного пилу.

За своєю конструкцією камери осадження пилу бувають порожнисті (рис. 2.1), з горизонтальними полицями (рис. 2.2, а), з вертикальними перегородками (рис. 2.2, б, в), з ланцюговими/дротяними завісами (рис. 2.2, г).

В камерах осадження ефективно вловлюються частинки пилу розміром від 40 мкм. Ефективність вловлювання частинок високодисперсного пилу розміром менше 5 мкм, навіть у камерах великих розмірів, близька до нуля [6].

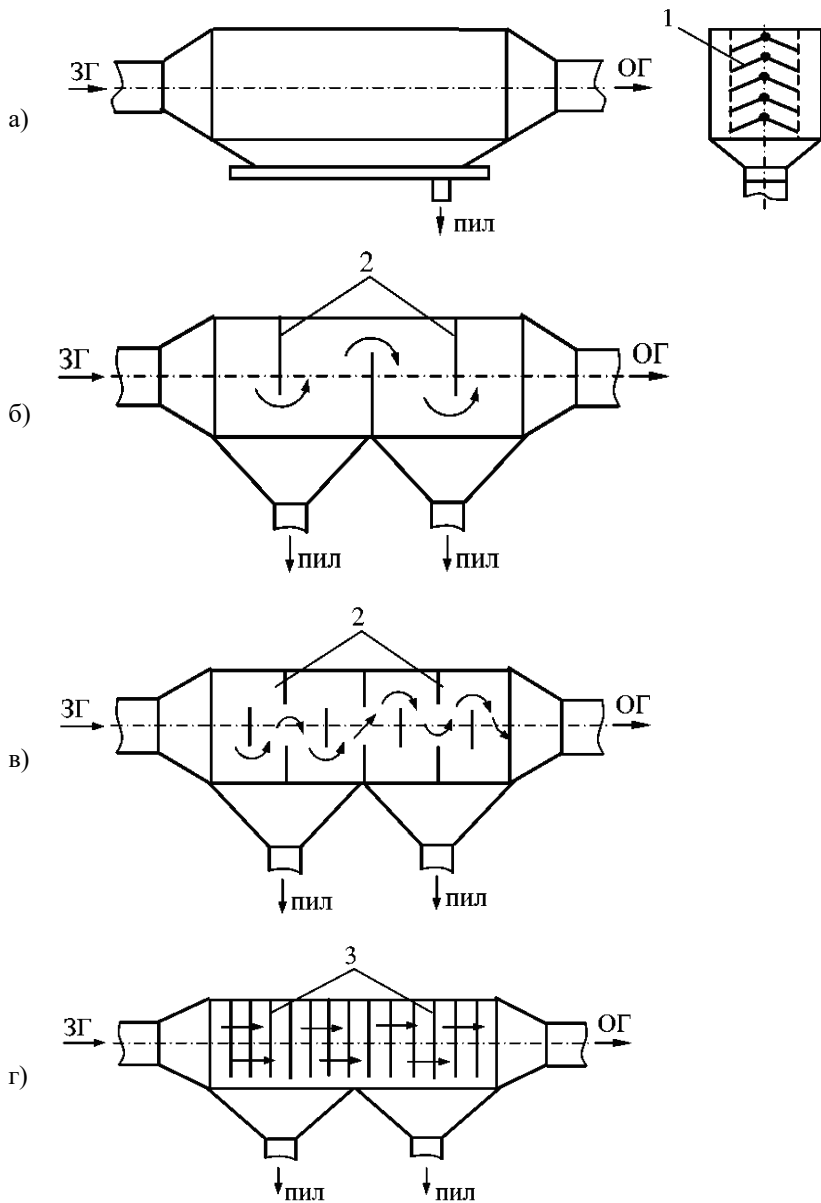


Рис. 2.2 – Конструкції камер осадження пилу:
 1 – полиці; 2 – перегородки; 3 – ланцюгова або дрютяна завіса

2.2.2. Інерційні пиловловлювачі

Інерційні пиловловлювачі застосовують для грубого очищення сухих газових викидів від частинок пилу розміром від 30 мкм до 100 мкм.

Принцип дії інерційних апаратів ґрунтується на використанні інерційних сил та додаткового моменту руху вниз. Якщо в апараті за напрямком руху газу встановити перепону, то газовий потік огинає її, а тверді частинки за інерцією зберігають попередній напрямок руху. Наштовхуючись на перепону, вони втрачають швидкість і випадають з течії. Ефективність пиловловлення збільшується, якщо частинці надати додаткового моменту руху, вектор якого направлений донизу і співпадає з вектором гравітаційних сил.

За конструкцією найпростіші інерційні пиловловлювачі бувають (рис. 2.3) з вертикальною перегородкою (а), з центральною трубою (б), з боковим штуцером (в) та з горизонтальними елементами (г).

Перевагою інерційних пиловловлювачів є невеликі габарити. Достатньо високий гідравлічний опір 200-300 Па забезпечує ступінь уловлення до 65-80% частинок розмірами менше 25-30 мкм [5].

Інерційні пиловловлювачі застосовують зазвичай на першому ступені очищення з наступним знепилюванням повітря в більш удосконалених апаратах.

Жалюзійні пиловловлювачі (рис. 2.4) використовуються для розділення газового потоку на очищений та збагачений пилом газ. В цих пиловловлювачах пил виділяється з газового потоку під дією інерційних сил при зміні напрямку руху газового потоку за допомогою жалюзійних пластин або кілець.

Призначення жалюзійної решітки – розділити газовий потік на дві частини: на вільну в значній мірі від пилу (складає приблизно 80-90% від всієї кількості газу) і ту, що містить основну масу пилу, яка вловлюється потім у циклоні або іншому достатньо ефективному пиловловлювачі (складає 10-20%).

Газ, що очищується, проходячи крізь решітку, робить різкі повороти. Пилові частинки, внаслідок інерції намагаються зберегти початковий напрямок, що призводить до виділення крупних частинок із газового потоку. Тому ж сприяють їхні удари об похилі площини решітки, від яких вони відбиваються і відскакують убік від щілин між лопатями жалюзі. В результаті газу поділяються на два потоки. Очищений в циклоні газ повертається в основний потік газів, очищених за допомогою жалюзійної решітки.

Ефективність очищення газів у жалюзійному пиловловлювачі становить 80% та більше для частинок пилу розміром 20 мкм.

Для зміни напрямку руху газового потоку замість пластин використовуються також кільця (рис. 2.5). Апарати виконуються у вигляді конусів, що складені з окремих кілець, які знаходяться на певній відстані одне від одного.

В жалюзійних пиловловлювачах гідравлічний опір складає 400-500 Па при концентрації пилу 2 г/см³.

Характеристика фракційного ступеня очищення газів від пилу з концентрацією 2 г/см³ в жалюзійних пиловловлювачах наведена в табл. 2.5.

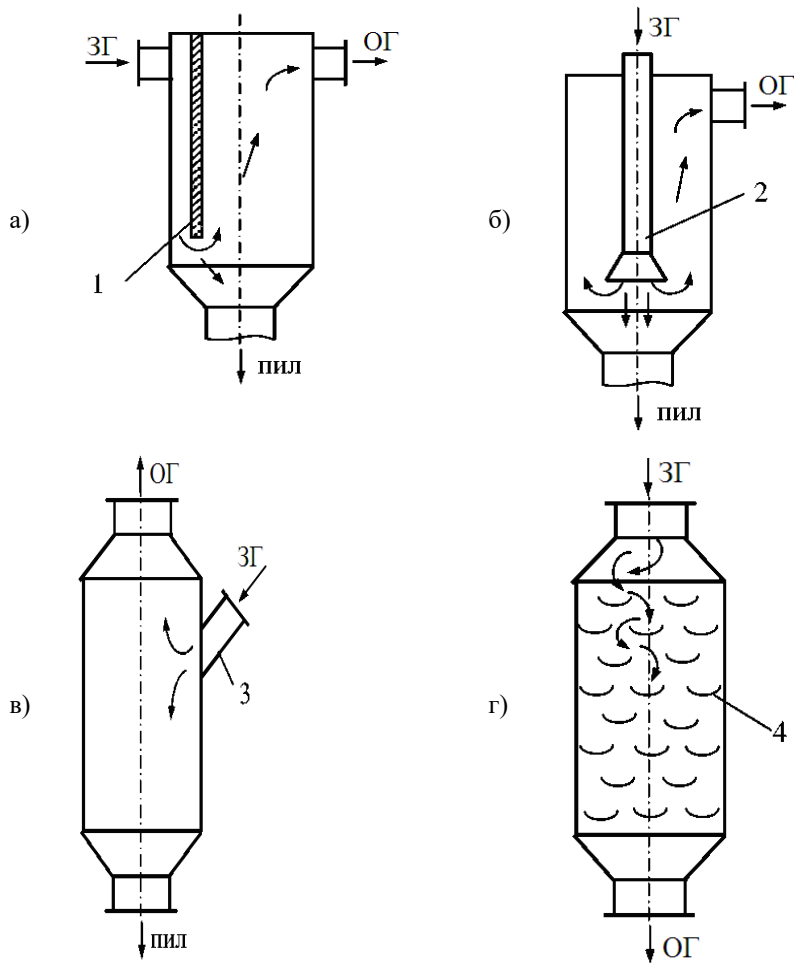


Рис. 2.3 – Конструкції інерційних пиловловлювачів:

1 – перегородка; 2 – центральна труба; 3 – боковий штуцер; 4 – горизонтальні елементи

Таблиця 2.5 – Залежність ступеня вловлювання від діаметра частинок пилу [4]

Діаметр частинок, мкм	5	10	15	20	25	30	40	50	60
Ступінь вловлювання частинок пилу, %	25	47	63	75	86	91	95	96	98

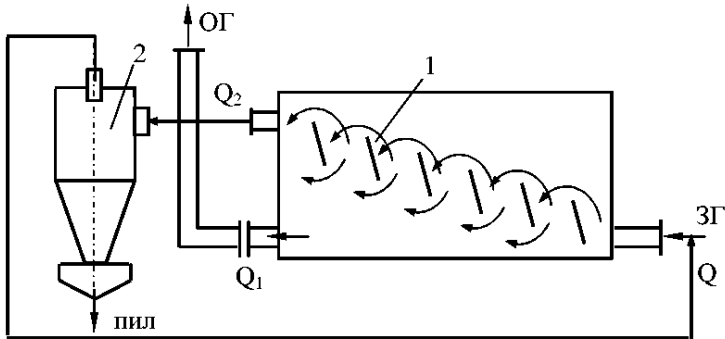


Рис. 2.4 – Конструктивна схема жалюзійного пиловловлювача з пластинами:
1 – жалюзійні пластини; 2 – циклон

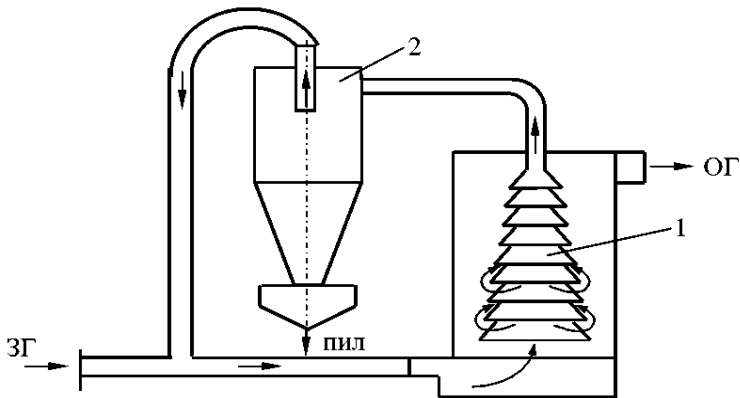


Рис. 2.5 – Конструктивна схема жалюзійного пиловловлювача з кільцями:
1 – кільця; 2 – циклон

Зазвичай жалюзійні пиловловлювачі застосовують для вловлювання пилу з розміром частинок більше 20 мкм. Перевагою жалюзійних пиловловлювачів є малий гідравлічний опір та порівняно невеликі розміри. Недоліком є швидкий знос пластин чи кільць, особливо при високій концентрації фракції пилу із значним діаметром частинок.

2.2.3. Циклони

Загальна характеристика конструкцій циклонів. Серед засобів сухого інерційного очищення газових викидів від пилу найбільш поширені циклони, які застосовуються для виділення з газового потоку частинок порівняно великого розміру.

Виділення пилу в циклонах відбувається під дією відцентрових сил, виникаючих внаслідок обертання газового потоку в корпусі апарата. Під дією відцентрової сили частинки пилу відкидаються до стінок циклону, завдяки чому основна маса пилових частинок зосереджується в потоці газу, що рухається в безпосередній близькості від стінок апарата.

Незважаючи на різноманіття конструкцій циклонів, його класичний варіант складається з (рис. 2.6): циліндричної частини 3 з кришкою і тангенціальним патрубком для введення запиленого газу 1; конічної частини 4 з патрубком для відведення пилу; центральної трубки з патрубком 2 для відведення очищеного газу; збірника пилу 5 [7].

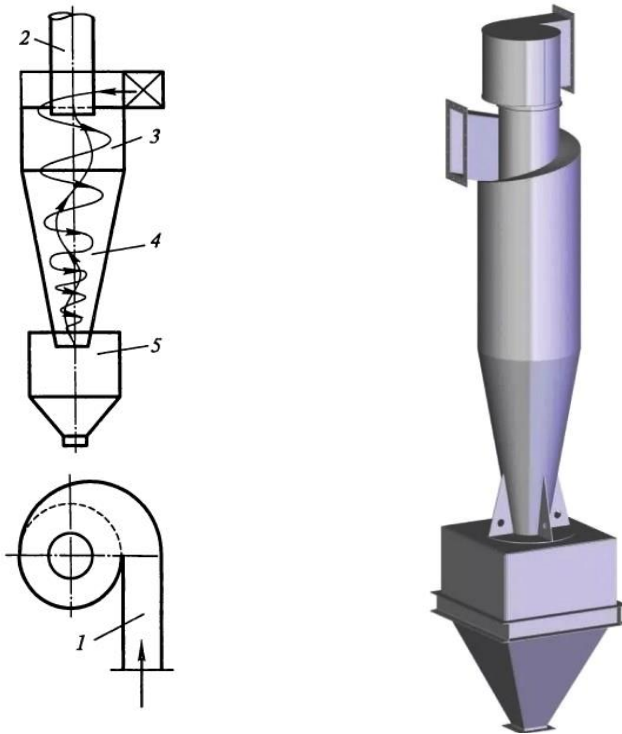


Рис. 2.6 – Конструктивна схема роботи циклона:

- 1 – вхідний патрубок; 2 – вихідний патрубок; 3 – циліндрична частина;
4 – конічна частина; 5 – збірник пилу

Залежно від якостей пилу і його дисперсного складу та вимог до очищення газу циклони застосовуються як апарати першого ступеня очищення або в поєднанні з іншими пиловловлювачами. Вони ефективно вловлюють з газу частинки пилу діаметром 5 мкм і більше. Допустима початкова концентрація пилу в газопиловому потоці, що очищується в циклонах, залежить від якостей

забруднених газів, конструкції й розмірів циклона. В середньому вона не повинна перевищувати $400 \cdot 10^{-6}$ кг/м³.

Перевагою циклонів є:

- відсутність рухомих частин в апараті;
- надійне функціонування при температурах газів майже до 500 °С без конструктивних змін;
- пил вловлюється в сухому вигляді;
- стабільна величина гідравлічного опору;;
- можливість вловлювання абразивних матеріалів при захисті спеціальним покриттям внутрішньої поверхні;
- простота виготовлення конструкції і можливість ремонту;
- незалежність роботи апарата від тиску газу;
- незалежність фракційної ефективності очищення від зростання запиленості газів;
- висока продуктивність при порівняно низькій вартості.

Недоліком є те, що значний гідравлічний опір (1250-1500 Па) високоефективних циклонів призводить до поганого вловлювання частинок розміром менше 5 мкм.

У промисловій практиці прийнято поділяти циклони на високоефективні і високопродуктивні. Апарати першого типу відрізняються більш високою ефективністю очищення, але потребують більших витрат на здійснення процесу. Циклони другого типу мають невеликий гідравлічний опір, відрізняються великою продуктивністю, але гірше вловлюють дрібні частинки.

За формою циклони поділяються на циліндричні (висота циліндричної частини більше висоти конічної) і конічні (висота циліндричної частини менше висоти конічної).

Циклони загального призначення. В різних галузях промисловості залежно від умов виробництва та вимог очищення застосовують циклони різних типів.

До циліндричних відносяться циклони конструкції НДЮгазу ЦН-11, ЦН-15, ЦН-15У, ЦН-24 (рис. 2.7, а).

Площа перетину вхідних патрубків у циклонах ЦН-15, ЦН-24 більша, ніж у циклоні ЦН-11. Відповідно, при однакових діаметрах і однаковому гідравлічному опорі циклони ЦН-15 і ЦН-24 мають більшу пропускну здатність, ніж циклони ЦН-11, але ефективність їх нижча, особливо ЦН-24. Тому циклони ЦН-24 рекомендується застосовувати для очищення газів з частинками пилу діаметром більше 20 мкм.

Для тонкого очищення газів від частинок діаметром 5-10 мкм ефективним є використання циклонів типу ЦН-11.

Циклони ЦН-15 і ЦН-15У "укорочені" (такі циклони використовуються в місцях, де встановлення циклона лімітовано висотою) знаходять широке застосування завдяки оптимальному співвідношенні між гідравлічним опором і ефективністю вловлювання пилу.

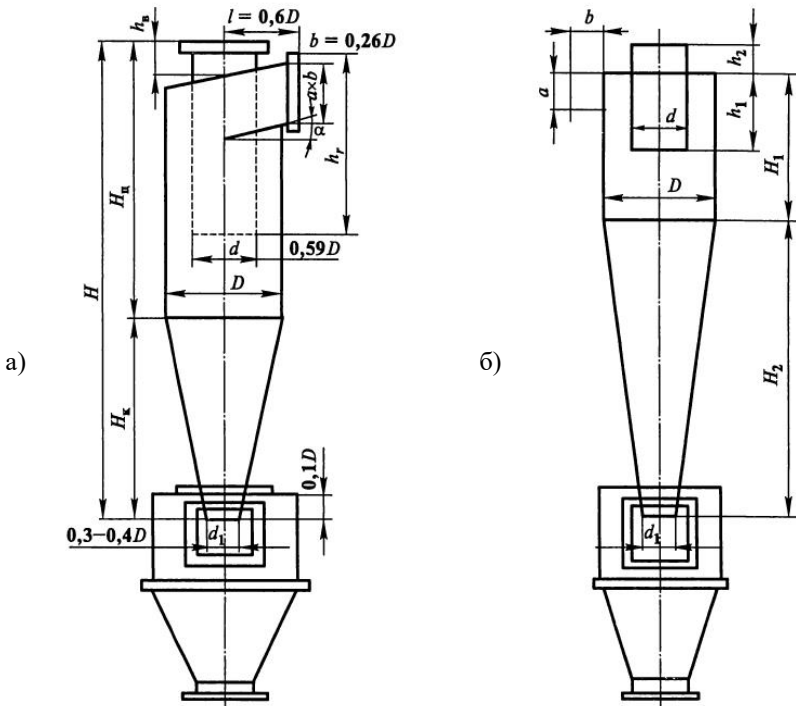


Рис. 2.7 – Конструктивні схеми циліндричних (а) та конічних (б) циклонів НДЮгазу [8]

Для очищення газів від вугільного пилу, золи та злиплого пилу використовуються спірально-конічні циклони СК-ЦН-34 та спірально-довгоконічні циклони типу СДК-ЦН-33 (рис. 2.7, б). Ці циклони мають подовжену конічну частину та малий діаметр вхідного патрубку. Спірально-конічні циклони порівняно з циклонами типу ЦН при однаковій продуктивності мають дещо більші розміри та підвищений гідравлічний опір, але характеризуються більшою ефективністю очищення.

Циліндричні циклони відносяться до високопродуктивних апаратів, конічні – до високоефективних.

Фракційна ефективність очищення промислових газів від пилу циклонами конструкції НДЮгазу наведена в табл. 2.6.

Групові та батарейні циклони. Збільшення діаметра циклона при постійній тангенціальній швидкості газу, що надходить, є причиною зменшення відцентрової сили та зниження ефективності очищення. Крім того, встановлення одного високопродуктивного циклона викладає складнощі через його велику висоту. В зв'язку з чим у техніці пиловловлювання широке застосування знайшли групові та батарейні циклони.

Таблиця 2.6 – Фракційна ефективність очищення промислових газів від пилу циклонами конструкції НДІОгазу [4]

Тип циклона	Ступінь очищення, %, при діаметрі частинок, мкм					
	2	5	10	20	50	100
СК-ЦН-34	70	92	98	99,8	99,9	99,9
СДК-ЦН-33	65	90	96	99,4	99,9	99,9
ЦН-11	-	75	92	98,8	99,8	99,9
ЦН-15	-	60	87	96,0	99,7	99,9
ЦН-15У	-	58	85	95,0	99,5	99,9
ЦН-24	-	52	80	92,0	99,4	99,9

В групових циклонах (рис. 2.8) кілька циклонів компонують в групу. При цьому вони мають спільний колектор для подачі запиленого і відведення очищеного газу, а також загальний бункер для збирання пилу.

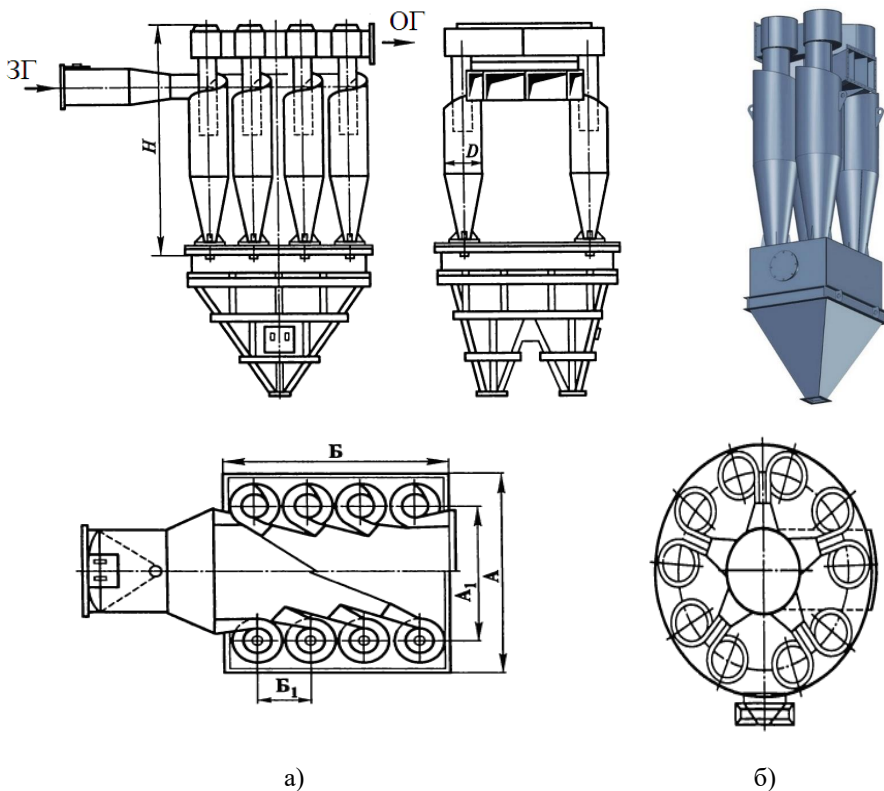


Рис. 2.8 – Конструктивна схема групових циклонів, які розміщені дворядним способом (а) і по колу (б) [9]

Розміщують групові циклони дворядним способом по 2-8 штук або навколо вертикального вхідного патрубку по колу по 10-14 штук.

Пилкові бункери циклонних груп можуть мати або круглу, або прямокутну форму. Для груп з двох або чотирьох циклонів застосовують обидві форми бункерів, а для груп з шести або восьми циклонів тільки прямокутні.

В групових компоновках застосовують циклони типу ЦН-15 і ЦН-11. Конічні циклони при рівній продуктивності з циліндричними відрізняються від останніх великими габаритами і тому зазвичай не застосовуються в груповому виконанні.

Ступінь очищення в групових циклонах нижчий, ніж в одиничному циклоні. Це обумовлено тим, що в одиничному циклоні вихровий потік, що рухається по спіралі вниз, після того як дійде до дна пилозбірного бункера, зберігаючи обертовий рух, різко змінює напрям свого руху до центральної вихлопної труби. В групових циклонах внаслідок порушення герметичності загального бункера змінюється гідравлічний режим, що є причиною зменшення ступеня очищення запиленних газів.

Батарейні циклони використовуються у випадку очищення значних об'ємів газу. Циклон являє собою пиловловлюючий апарат, що складається з великої кількості паралельно включених циклонних елементів (від декількох десятків до декількох сотень), які мають спільні колектори для підведення запиленого газу, а також спільний бункер для збирання пилу (рис. 2.9).

На відміну від звичайних циклонів, надання газовому потоку обертового руху, необхідного для виділення пилу, в елементах батарейного циклону досягається не підведенням до нього газів по дотичній, а встановленням в кожному циклонному елементі спрямовуючого апарата.

В якості спрямовуючого застосовують апарати типу «гвинт» і «розетка». Спрямовуючий апарат типу «гвинт» складається з двох гвинтових лопаток, нахилених під кутом 25° . Він менш здатен до забивання золою і пилом, має менший коефіцієнт гідравлічного опору, але одночасно забезпечує і менший ступінь очищення, ніж апарат типу «розетка». Останній складається з восьми лопаток, нахилених під кутом 25° та 30° . Кут нахилу лопаток 25° сприяє більш високому коефіцієнту очищення, але збільшує гідравлічний опір, у порівнянні з опором, коли кут нахилу становить 30° .

Високий ступінь очищення газів до 90-95% досягається за рахунок встановлення в циклонах елементів малого діаметра – 100, 150 і 250 мм (найчастіше для батарейних циклонів застосовують елементи діаметром 250 мм). Відцентрова сила в таких елементах збільшується, одночасно підвищується ефективність очищення. Таким чином, розміри батарейних циклонів (в плані) менші за розміри звичайних циклонів однакової продуктивності.

Крім того, батарейні циклони мають менший гідравлічний опір і працюють в значному діапазоні запилення (до 100 г/м^3).

Їхнім недоліком є складність виготовлення та значна металомісткість апаратів. Крім того, батарейні циклони ефективно працюють тільки при очищенні сухих газів та пилу, що не злипається.

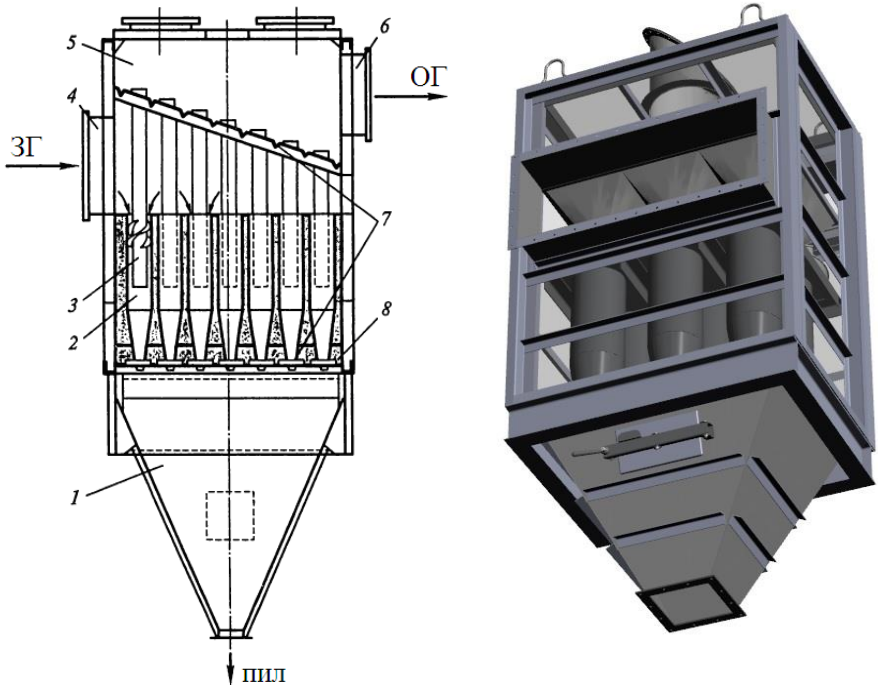


Рис. 2.9 – Конструктивна схема батарейного циклону [9]

2.2.4. Вихрові та динамічні пиловловлювачі

Основною відмінністю *вихрових пиловловлювачів* від циклонів є наявність допоміжного завихрювача газового потоку.

Принцип роботи цих пиловловлювачів ґрунтується на дії відцентрових сил на частинку пилу. Порівняно з циклоном у них висока ефективність очищення (98-99%) газів від дрібнодисперсних частинок пилу (3-5 мкм). Вони можуть очищувати гази з температурою до 700 °С за рахунок застосування вторинного повітря. Крім того, відсутнє абразивне зношення активних частин апарату і є можливість регулювання процесу сепарації пилу за рахунок регулювання витрат вторинного повітря. Їхніми недоліками є складна будова та складнощі в експлуатації апарату; необхідність встановлення додаткового пристрою для подачі вторинного повітря – вентилятора; збільшення за рахунок вторинного газу загального об'єму газів.

В якості вторинного газу у вихрових пиловловлювачах може бути застосовано атмосферне повітря, периферійна частина потоку очищених газів і запилені гази. Перший варіант є доцільним, якщо очищенню піддається гарячий газ, який необхідно охолодити. З економічної точки зору цей варіант є найгіршим. Найбільш вигідним в економічному відношенні є застосування

запиленого газу, оскільки він дозволяє підвищити продуктивність установки на 40-65% зі збереженням ефективності очищення.

На рис. 2.10 наведено дві основні конструкції вихрових пиловловлювачів – соплові (а) та лопатеві (б).

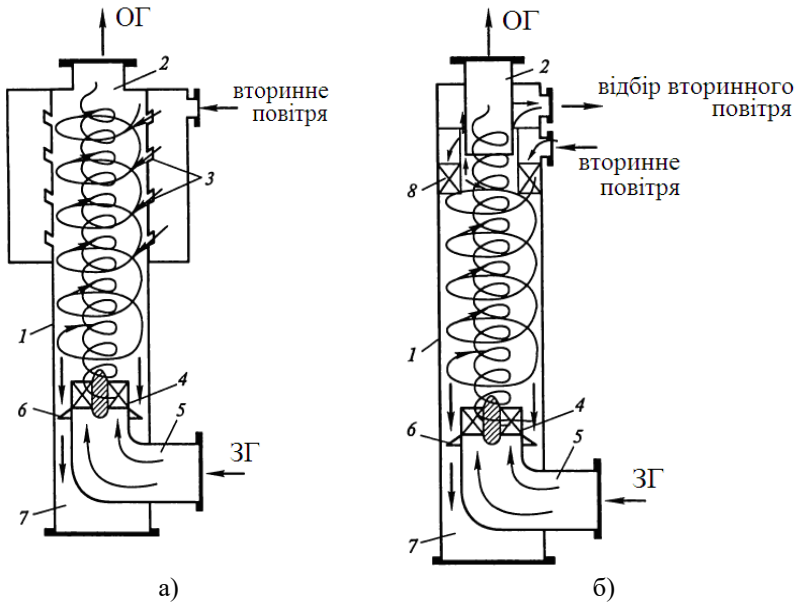


Рис. 2.10 – Конструктивні схеми вихрових пиловловлювачів [10]:

а) сопловий, б) лопатевий;

1 – робоча камера; 2 – вихідний патрубок; 3 – сопла; 4 – лопатевий завихрювач типу «розетка»; 5 – вхідний патрубок; 6 – підпірна шайба; 7 – пиловий бункер; 8 – кільцевий лопатевий завихрювач

Вихрові пиловловлювачі можуть компонуватися в групи. Це робиться з метою збільшення ефективності пиловловлювання за рахунок зменшення діаметру апаратів.

Вихрові пиловловлювачі можуть застосовуватися для очищення вентиляційних і технологічних викидів від дрібнодисперсного пилю в хімічній, нафтохімічній, харчовій, гірничорудній та інших галузях промисловості. За кордоном вихрові пиловловлювачі мають продуктивність 330-30000 м³/год. У вітчизняних конструкціях забезпечується більш низький гідравлічний опір і низька частка вторинного повітря, у порівнянні з закордонними апаратами.

Для орієнтовної оцінки ефективності вловлювання частинок різного розміру можна користуватися даними, наведеними нижче [10]:

Розмір частинок пилю, мкм	2,5	5	10
Ступінь очищення, %	92	95	98

Очищення газу в динамічних ротаційних пиловловлювачах здійснюється за рахунок відцентрових сил та сил Кориоліса, що виникають при обертанні робочого колеса. Вони виконують одночасно функції вентилятора чи димососа та апарата для виділення частинок пилу з газу. Апарати більш компактні і витрачають менше енергії, ніж звичайні вентилятори і пиловловлюючі пристрої.

Прості ротаційні пиловловлювачі являють собою механізм, що складається з робочого колеса і кожуха (пилоприймача). Газопиловий потік набуває обертального руху за допомогою робочого колеса. При цьому під дією відцентрової і сили Кориоліса з газів, що очищуються, виділяється пил.

Експлуатаційний досвід показує, що динамічні пиловловлювачі забезпечують високий ступінь очищення при вловлюванні частинок розміром більше 10 мкм.

За принципом дії динамічні пиловловлювачі поділяються на дві групи. В апаратах першої групи (рис. 2.11, а) відокремлювані частинки пилу мають напрям руху, що співпадає з напрямом руху газу, тобто в них відцентрова сила направлена назустріч повітряному потоку. В апаратах другої групи (рис. 2.11, б) частинки, що вловлюються, виділяються з потоку в напрямку, протилежному напрямку руху газу.

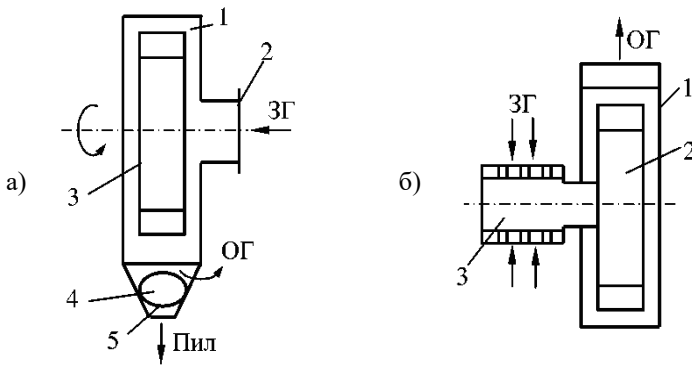


Рис. 2.11 – Конструктивні схеми динамічних пиловловлювачів [4]:

- а) 1 – корпус у вигляді равліка; 2 – вхідний патрубок запиленого газу; 3 – відцентрове колесо; 4 – вихідний патрубок очищеного газу; 5 – збірник пилу; б) 1 – корпус; 2 – відцентрове колесо; 3 – барабан з отворами, що обертається

Динамічні пиловловлювачі компактні, надійні в роботі, можуть вловлювати абразивний пил.

Недоліком цих апаратів є невисокий ступінь очищення (80-90%); небезпека абразивного зносу лопаток димососу; можливість утворення відкладень на лопатках, і як наслідок, дисбаланс ротора і складність у виготовленні; підвищена енергоємність.

2.3. Засоби сухого очищення газових викидів від пилу фільтруванням

2.3.1. Загальні відомості щодо процесу фільтрування та види фільтрів

Фільтруванням називається процес поділу запилених газів при їхньому русі через пористі перегородки, при якому завислі частинки пилу затримуються пористими перегородками, а очищені гази повністю проходять через них.

Принципова схема процесу фільтрування в пористій перегородці наведена на рис. 2.12.

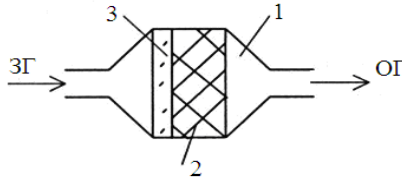


Рис. 2.12 – Схема руху газів через пористу перегородку [5]:

1 – корпус; 2 – фільтруюча пориста перегородка; 3 – шар затриманого пилу

При фільтрації тверді частинки пилу накопичуються в порах у вигляді пилового шару на поверхні перегородки і таким чином самі стають для частинок, що знову надходять, частиною фільтруючого середовища. З одного боку, це підвищує ефективність пиловловлення, з іншого – призводить до поступового зниження газопроникності фільтра. В міру накопичення частинок розмір пір та загальна пористість перегородки зменшуються, а опір руху газів зростає, тому виникає необхідність руйнування та видалення пилового шару (для зниження перепаду тиску та збереження початкової швидкості фільтрації).

Таким чином, процес фільтрування передбачає періодичну регенерацію фільтрувального матеріалу. Для пористих середовищ деяких видів (високоєфективні волокнисті фільтри) регенерацію не здійснюють, а використаний фільтрувальний матеріал замінюють свіжим.

Процес фільтрування можна умовно поділити на дві стадії. На першій (початковій) стадії частинки, що осаджуються, накопичуються всередині пористої перегородки в незначній кількості, що не змінює її структури. На цій стадії гідравлічний опір та ефективність очищення газу не змінюються в часі та за величиною визначаються структурою фільтрувального матеріалу, характеристикою пилу та параметрами газу. Цей процес прийнято називати стаціонарним. На другій стадії процесу, внаслідок великої кількості осаджених частинок, пориста перегородка зазнає безперервних структурних змін, гідравлічний опір та ефективність очищення зростають у міру накопичення пилу в фільтрувальному матеріалі, внаслідок чого процес називається нестаціонарним.

Ефективність осадження частинок у початковий період роботи фільтра (коли тканина або зернистий шар ще чисті) невелика через відносно великі пори в фільтруючій перегородці.

Фільтрами називаються пристрої, в яких запилене повітря пропускається через пористі матеріали, здатні затримувати або осаджувати пил. Фільтр складається з корпусу, розділеного пористою перегородкою (фільтрувальним елементом) на дві порожнини – запиленого та очищеного газу (рис. 2.13). У фільтр надходять забруднені гази, які очищаються під час проходження фільтрувального елемента. Частинки домішок осідають на вхідній частині пористої перегородки та затримуються в порах, утворюючи на поверхні перегородки шар. Для частинок, що знову надходять, цей шар стає частиною фільтрувальної перегородки, що збільшує ефективність очищення фільтра і перепад тиску на фільтрувальному елементі.

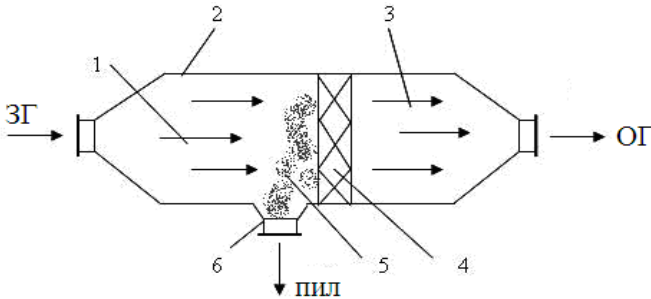


Рис. 2.13 – Принцип дії апарату фільтруючого типу:

1 – запилений газ; 2 – корпус; 3 – очищений газ; 4 – фільтрувальна перегородка;
5 – вловлюваний пил; 6 – пристрій для вивантаження пилу

В якості пористих перегородок можуть бути використані волокнисті ткани та неткані матеріали, насипний шар і жорсткі пористі матеріали.

Застосовувані в сучасних апаратах фільтрувальні пористі перегородки за своєю структурою дуже різноманітні, але здебільшого вони складаються з волокнистих або зернистих елементів, які умовно можуть бути розділені на такі типи:

- гнучкі пористі перегородки. До них відносяться: ткани матеріали з природних, синтетичних та мінеральних волокон; неткані волокнисті матеріали (повсті, клеєні та голкопробивні матеріали, папір, картон, волокнисті мати); пористі листи (губчаста гума, пінополіуретан, мембранні фільтри);

- напівжорсткі пористі перегородки. До них відносяться: шари волокон, стружка, в'язані сітки, розташовані на опорних пристроях або затиснуті між ними;

- жорсткі пористі перегородки. До них відносяться: зернисті матеріали (пориста кераміка та пластмаса, спечені або спресовані порошки металів, скла, вуглеграфітових матеріалів тощо); волокнисті матеріали (відформовані шари зі скляних та металевих волокон); металеві сітки та перфоровані листи;

– зернисті шари. До них належать: нерухомі, вільно насипні матеріали; матеріали, що періодично або безперервно переміщуються; псевдозріджені гранули чи порошки.

Сучасні фільтри в залежності від призначення та величин вхідної та вихідної концентрацій вловлюваних частинок умовно поділяють на три класи [11].

Фільтри тонкого очищення (високоєфективні) призначені для вловлювання з дуже високою ефективністю (більше 99%) в основному субмікронних частинок із промислових газів та повітря при низькій вхідній концентрації (менше $0,5\text{--}5\text{ мг/м}^3$) та малій швидкості фільтрації (менше 6 м/хвилину). Такі фільтри застосовують для вловлювання особливо токсичних речовин, а також для ультратонкого очищення повітря при проведенні різних технологічних процесів або в особливо чистих приміщеннях, в яких повітря служить робочим середовищем. Ці фільтри не піддаються регенерації.

Фільтри для очищення атмосферного повітря (повітряні фільтри) – призначені для знепилювання атмосферного повітря в системах припливної вентиляції та кондиціонування повітря. Вони розраховані працювати при концентрації пилу до 50 мг/м^3 , часто за високої швидкості фільтрації (до 2,5–3 м/с). Фільтри цього класу бувають нерегенеровані, а також періодично або безперервно регенеруються.

Промислові фільтри (тканинні, зернисті) застосовуються для очищення промислових газів з високою концентрацією частинок (до 60 г/м^3 і більше). У багатьох випадках при підвищених температурах та вмісту в газах агресивних компонентів (SO_2 тощо). Для періодичного або безперервного видалення пилу, що накопичується в фільтруючій перегородці, фільтри цього класу мають пристрої для регенерації, що дозволяють підтримувати продуктивність на заданому рівні і повертати цінні продукти у виробництво. Фільтри цього класу нерідко є складовою технологічного устаткування.

Переваги фільтрів:

- більш високий ступінь очищення газів від завислих частинок, ніж у газоочисних апаратах інших типів (фільтри забезпечують практично повне вловлювання частинок всіх розмірів, включаючи субмікронні);
- універсальність (здатність вловлювати тверді частинки в сухому вигляді і рідкі частинки з туманів);
- можливість вловлювання частинок при будь-якому тиску газів (атмосферному, а також вище та нижче атмосферного);
- високий ступінь очищення при будь-яких концентраціях завислих частинок у газах, що очищуються;
- можливість очищення газів, як при високій, так і при низькій температурі середовища;
- використання хімічно стійких матеріалів;
- можливість повної автоматизації процесу очищення газів;
- стабільність процесу очищення і менша залежність від зміни фізико-хімічних властивостей частинок, що вловлюються, і витрат газів, ніж при використанні інших способів;

- отримання продукту в сухому вигляді;
- відносно помірні витрати енергії;
- простота експлуатації.

Недоліки фільтрів:

- відносно малий термін служби тканин та інших фільтруючих перегородок;
 - необхідність у ряді випадків попереднього охолодження газу, що очищується;
 - необхідність періодичної заміни деяких фільтруючих перегородок;
 - порівняно високі витрати енергії при використанні окремих видів пористих фільтрів;
 - громіздкість фільтраційних установок;
 - нестабільність ступеня очищення в часі;
 - вартість очищення в фільтрах вища, ніж у більшості інших пиловловлювачів (це пояснюється конструктивною складністю фільтрів);
 - складні в експлуатації та потребують кваліфікованого обслуговування.
- За типом структурних елементів пористої перегородки розрізняють волокнисті, тканинні та зернисті фільтри.

2.3.2. Волокнисті фільтри

Волокнисті фільтри є пористими перегородками, складеними з безладно розташованих, однак більш менш рівномірно розподілених за обсягом волокон. У зв'язку з високою пористістю аерозольні частинки проникають у глибину пористої перегородки, внаслідок цього волокнисті фільтри застосовують для фільтрації слабо заповнених потоків з концентрацією пилу в межах 0,5-5 мг/м³.

Волокнисті фільтри застосовують для очищення атмосферного повітря, кондиціонування та повітряного опалення, а також у ряді установок спеціального призначення.

Процес фільтрації у волокнистих фільтрах складається з двох стадій. На першій стадії (стаціонарна фільтрація) вловлені частинки практично не змінюють структуру фільтра, на другій стадії процесу (нестационарна фільтрація) у фільтрі відбуваються безперервні структурні зміни, внаслідок накопичення вловлених частинок у значних кількостях. Відповідно до цього постійно змінюються ефективність очищення та опір фільтра.

Для створення фільтруючих перегородок використовують як природні, так і спеціально виготовлені волокна завтовшки 0,01-100 мкм, наприклад, відходи текстильного виробництва, шлакову вату, скловолокно, волокна з кварцу, базальту, графіту, різних металів, полімерів тощо. Ці фільтри об'ємної дії, оскільки вони розраховані на вловлювання та накопичення частинок переважно по всій глибині перегородки. Суцільний шар пилу утворюється тільки на поверхні найбільш щільних матеріалів, зазвичай при фільтрації відносно великих частинок до кінця терміну служби фільтра.

Розрізняють такі види промислових волокнистих фільтрів [5]-[12]:

1) сухі – тонковолокнисті, глибокі, фільтри грубого або попереднього очищення (грубоволокнисті);

2) мокрі фільтри – тумановловлювачі.

Тонковолокнисті фільтри. Ці фільтри здатні забезпечити тонке очищення великих об'ємів газів і повітря від твердих частинок всіх розмірів, включаючи субмікронні в атомній енергетиці, радіоелектроніці, точному приладобудуванні, промисловій мікробіології, хіміко-фармацевтичній та інших галузях.

Для вловлювання високодисперсних аерозолів розміром 0,05-0,1 мкм з ефективністю не менше 99% застосовують фільтруючі матеріали у вигляді тонких листів або об'ємних шарів з тонких або ультратонких волокон (діаметр менше 2 мкм). Регенерація відпрацьованих фільтрів тонкого очищення нерентабельна або неможлива, що є їх головним недоліком. Тонковолокнисті фільтри призначені для роботи (протягом 0,5-3 років) із наступною заміною фільтра на новий.

Оптимальна конструкція фільтрів тонкого очищення повинна відповідати таким основним вимогам:

- максимальна поверхня фільтрації при найменших габаритах;
- мінімальний опір;
- можливість більш зручної та швидкої установки;
- надійна герметичність групової збірки окремих фільтрів.

Цим вимогам найбільше відповідають поширені нині фільтри рамкової конструкції (рис. 2.14).

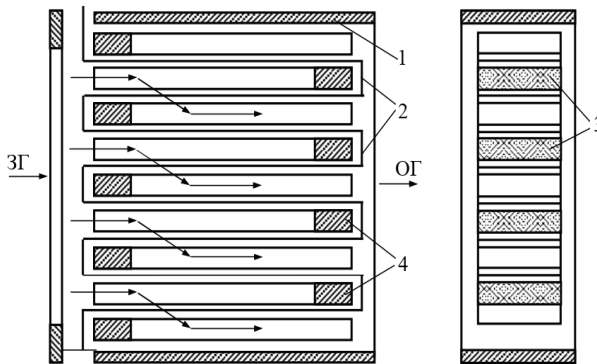


Рис. 2.14 – Конструктивна схема волокнистого фільтра:

1 – бокова стінка; 2 – фільтруючий матеріал; 3 – роздільник; 4 – рамка П-подібна

Глибокі фільтри, на відміну від тонковолокнистих, характеризуються довгостроковим використанням протягом 10-20 років. Вони складаються з глибокого зовнішнього шару грубих волокон діаметром 8-19 мкм і замикаючого шару тонких волокон, причому щільність упаковки волокон змінюється за глибиною.

Глибокі фільтри застосовують у системах стерилізації повітря у виробництві антибіотиків, вітамінів та інших біо- та медичних препаратів, а також для тонкого очищення деяких видів технологічних газових викидів. Фільтри періодично стерилізують гострим паром протягом 4 годин, потім просушують сухим повітрям шляхом продування протягом доби. Загальна ефективність волокнистого фільтра глибокого очищення складає 99,9%.

Фільтри грубої (ФГ) або попереднього очищення (грубоволокнисті або передфільтри) встановлюють перед тонковолокнистими фільтрами для попереднього очищення повітря (газів). Завдяки цьому знижується вартість очищення, оскільки вартість грубоволокнистих фільтрів майже в 10 разів нижче вартості тонковолокнистих, їх легко замінювати або регенерувати.

Фільтрувальний матеріал фільтра грубого очищення складається з суміші волокон діаметром 1-20 мкм, причому до 50% волокон мають розміри менше 4 мкм.

Грубоволокнисті фільтри відрізняються низьким початковим опором (приблизно 100 Па) та високою пилоємкістю. Фільтри повинні повністю вловлювати частинки більше 1 мкм. Після часткового забивання пилом фільтр стає ефективним для частинок субмікронного розміру.

Термін служби грубоволокнистого фільтра до зміни або регенерації визначається його пилоємкістю. При вхідній концентрації пилу 0,5-1 мг/м³ зміна грубоволокнистого фільтра відбувається 4-6 разів на рік.

На роботі фільтрів особливо несприятливо відбивається вміст у газі частинок гігроскопічних солей, а також конденсація парів води у фільтруючому шарі, оскільки при цьому утворюються відкладення у вигляді непроникної кірки, що призводить до виведення фільтра з ладу.

Мокрі фільтри-тумановловлювачі використовуються у виробництві сірчаної та термічної фосфорної кислоти, хлор-газу, при концентруванні різних кислот і солей шляхом упарювання, при випаровуванні олій та інших органічних рідин, а також при отриманні та переробці амонійних солей тощо.

Для вловлювання рідких аерозольних частинок застосовують волокнисті та сіткові фільтри-тумановловлювачі, принцип дії яких заснований на захопленні частинок волокнами при пропусканні туманів через волокнистий шар з безперервним виведенням з нього вловленої рідини. При цьому, зазвичай, не потрібно ніяких механічних впливів на фільтруючі шари, тобто фільтри працюють з постійним опором в стаціонарному режимі самоочищення.

Матеріалами для волокон можуть бути скло, синтетика та метали.

Однак, вигідно відрізняючись за багатьма параметрами від інших пристроїв для вловлювання рідких частинок, волокнисті фільтри мають істотний недолік: можливість заростання за наявності в тумані значної кількості твердих нерозчинних частинок і при утворенні в шарі нерозчинних відкладень – солей (CaSO₂, CaCO₃, CaF₂, CaSO₃ тощо) при взаємодії солей жорсткості води з газами (CO₂, SO₂, HF тощо).

Незважаючи на зазначені недоліки, ці апарати характеризуються високим ступенем очищення, надійністю у роботі, простотою конструкцій, монтажу та

обслуговування, а головне – можливістю очищення тонкодисперсних туманів до будь-якої залишкової концентрації.

2.3.3. Тканинні фільтри

Фільтрація запилених промислових газів та аспіраційного повітря в тканинних фільтрах є радикальним технічним рішенням для досягнення ефективного пиловловлення при відносно помірних капітальних та експлуатаційних витратах. Вимоги очищення газів, що зросли, виявили тенденцію до збільшення частки застосовуваних тканинних фільтрів перед апаратами мокро очищення газів і електрофільтрами.

Ефективність очищення повітря (газу) в рукавних фільтрах в основному залежить від властивостей фільтрувальної тканини, з якої виготовлені рукави апарату, а також від того, якою мірою ці властивості відповідають властивостям середовища, що очищується, і завислих у них частинок.

Тканинні фільтри здатні вловлювати частинки розміром від декількох сотень мікрон до субмікронних, що забезпечується головним чином осадженням пилового шару на поверхні фільтра.

Оптимальні значення швидкості фільтрування тканинних фільтрах лежать в межах 0,5-1,0 м/хвилину. При великих швидкостях фільтрування ефективність тканинних фільтрів знижується, внаслідок винесення пилових частинок, а гідравлічний опір стає надмірно високим. При менших швидкостях фільтрування потрібне збільшення поверхні фільтра.

Тканинні фільтри розрізняються за такими ознаками [4]:

- за формою фільтрувальних елементів (рукавні, плоскі, клинові тощо) та наявністю в них опорних пристроїв (каркасні, рамні);
- за типом фільтрувальної тканини: з натуральних та синтетичних тканин;
- за способом регенерації тканини: струшуванням, зворотним продуванням, продуванням стисненим повітрям, імпульсним продуванням, звуковою регенерацією;
- за наявністю та формою корпусу для розміщення тканини – прямокутні, циліндричні, відкриті (безкамерні);
- за кількістю секцій в установці (однокамерні та багатосекційні);
- за місцем розташування вентилятора щодо фільтра (всмоктувальні, що працюють під розрядженням, та нагнітальні, що працюють під тиском).

Найбільш поширеним типом тканинного фільтра є рукавний фільтр (рис. 2.15), який забезпечує тонке очищення повітря від пилових частинок, що мають розмір менше 1 мкм.

Головним елементом тканинного фільтра є рукав, виготовлений із фільтрувальної тканини. Корпус фільтра розділений на кілька герметизованих камер, у кожній з яких розміщено кілька рукавів. Газ, що підлягає очищенню, підводиться в нижню частину кожної камери і надходить усередину рукавів.

Фільтруючись через тканину, газ проходить у камеру, звідки через відкритий випускний клапан надходить у газопровід чистого газу. Частинки пилу, що містяться в неочищеному газі, осідають на внутрішній поверхні

рукава, внаслідок чого опір рукава по ходу газу поступово збільшується. Коли він досягне деякого граничного значення, фільтр переводиться на режим регенерації, тобто рукави звільняються від пилу, що осів на них.

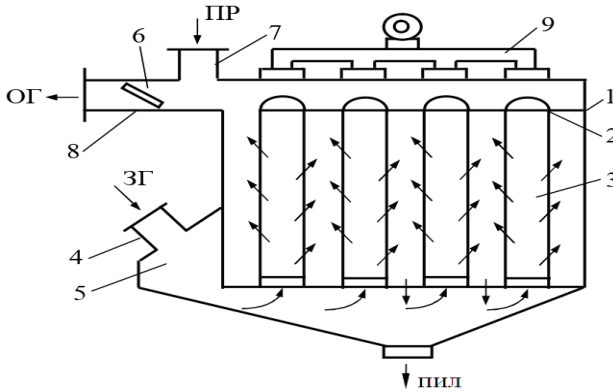


Рис. 2.15 – Конструктивна схема рукавного фільтра:

- 1 – корпус; 2 – верхня решітка; 3 – рукав; 4 – газохід запиленних газів;
5 – колектор; 6 – клапан; 7 – продуктивний колектор; 8 – патрубок очищених газів; 9 – струшувальний механізм

На початку проходження газу через чисту тканину вловлюється лише частина пилу, часто невелика. При заповненні пір пилом ступінь очищення швидко зростає і після утворення первинного суцільного шару пил вловлюється практично повністю. Таким чином, у тканинних фільтрах тканина виконує роль несучої поверхні, тобто служить основою для формування та утримання фільтруючого пилового шару.

При низьких вхідних концентраціях пилу процес утворення шару займає багато часу, тому найкращі результати досягаються при очищенні газів із високою запиленістю. При цьому накопичений шар пилу при регенерації не розпоршується в газі, а руйнується, утворюючи великі агрегати. В результаті зменшується ймовірність повторного осадження пилу на тканині та полегшується випадання його в бункер. При регенерації частина осаду видаляється, але всередині тканини між нитками та волокнами залишається значна кількість пилу, що зберігає високу ефективність очищення газів, тому при регенерації тканин не можна допускати їхнього «переочищення».

У тканинних фільтрах доцільно використовувати невеликі швидкості фільтрації зазвичай 0,5-1,2 см/с. За більшої швидкості відбувається надмірне ущільнення пилового шару, що супроводжується різким збільшенням його опору.

2.3.4. Зернисті фільтри

В зернистих фільтрах в якості фільтруючого шару використовують насипні матеріали, в яких окремі елементи не пов'язані між собою. До них відносяться: крупнозернистий пісок, галька, шлак, подрібнені гірські породи, тирса, кокс, крихта гуми, пластмаси, графіт та інші матеріали. Фільтруючий шар зазвичай роблять неоднорідним: на вході газу розташовують більш крупні зерна діаметром 5-10 мм, на виході – дрібніші діаметром 2-3 мм.

При пропущенні газу через зернисті матеріали, що містяться в ньому у завислому стані, тверді або рідкі частинки затримуються і залишаються у фільтруючому шарі.

Ступінь очищення газу залежить від властивостей фільтруючого матеріалу, від властивостей пилу, що вловлюється, і режиму процесу фільтрування. В міру накопичення пилового шару вона поступово підвищується до деякого максимуму, після чого починає знижуватися, що пояснюється збільшенням швидкості газу в порових каналах, що супроводжується підвищенням виносу пилу.

Зернисті фільтри можна використовувати при роботі в умовах високих температур, агресивного середовища та при великих механічних навантаженнях та перепадах тиску. Крім того, зернисті фільтри при відповідному виборі фільтруючого матеріалу можуть виконувати функцію каталізатора або адсорбенту.

Зернисті фільтри схильні до забиття пилом і їхня регенерація переважно викликає труднощі. Тому якщо не вдається видалити пил, що осів, з фільтруючого шару промиванням або іншими способами, його замінюють. Зважаючи на те, що швидкості фільтрації газу через зернистий матеріал малі, зернисті фільтри вимагають великих площ для їхнього встановлення.

Зернисті фільтри встановлюють при обробці запилених викидів виробництва будівельних матеріалів, підприємств хімічної промисловості, при отриманні рідкісних та дорогоцінних металів та інших технологічних процесах.

Залежно від виду пилу, що вловлюється, і режиму роботи зернисті фільтри забезпечують ступінь очищення газів 95-99,5% при швидкості фільтрації 15-35 м/хвилину. Гідравлічний опір фільтра становить 1300-3000 Па. Як правило, зернисті фільтри використовують для знепилювання невеликих об'ємів газу.

Розрізняють такі типи зернистих фільтрів [4]-[13]:

- зернисті насадкові (насіпні) фільтри, в яких елементи, що вловлюють (гранули, куски тощо) не пов'язані один із одним. До цих фільтрів відносяться: статичні (нерухомі) шарові фільтри; динамічні (рухливі) шарові фільтри з гравітаційним переміщенням сипучого середовища; псевдозріджені шари;

- жорсткі пористі фільтри, в яких зерна міцно пов'язані один із одним у результаті спікання, пресування або склеювання та утворюють міцну нерухому систему. До цих фільтрів відноситься пориста кераміка, пористі метали, пористі пластмаси.

Зернисті насипні фільтри з нерухомим шаром. Зернисті насипні фільтри призначені для очищення газів від пилу механічного походження (від дробарок,

гуркотів, сушарок, млинів, транспортуючих пристроїв). Вони застосовуються при отриманні цементу, вапна, гіпсу, фосфорних добрив та інших виробництв, за наявності абразивного пилю та агресивних газів або речовин, що погано вловлюються в електрофільтрах та інших пиловловлювачах. Однак у цих фільтрах не можна очищати пилю, що важко видаляється. Ефективність вловлювання пилю в цих фільтрах зростає зі збільшенням висоти шару та зменшенням середнього діаметра його зерен.

Конструктивна схема насипного зернистого трисекційного фільтра з нерухомим фільтруючим шаром наведена на рис. 2.16.

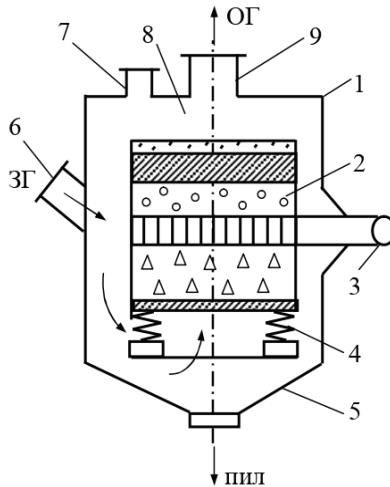


Рис. 2.16 – Схема зернистого фільтра з нерухомим фільтруючим шаром:

- 1 – корпус; 2 – насипні фільтруючі шари; 3 – вібратор; 4 – пружини;
- 5 – бункер для пилю; 6 – вхідний патрубок запиленого газу; 7 – продувний патрубок; 8 – камера очищеного газу; 9 – вихідний патрубок очищеного газу

Після низки циклів регенерації настає момент, коли ця операція вже не дає помітного зниження. Тоді фільтруючий матеріал змінюють або (при вловлюванні розчинних аерозолів) промивають водою безпосередньо в апараті.

Залишковий вміст пилю в очищених газах зазвичай становить 10-100 мг/м³; ефективність очищення до 99,5%.

Зернисті насипні фільтри з рухомими фільтруючими шарами.

Найбільш перспективними є конструкції цих фільтрів з вертикальним розташуванням шару, при якому рух шару відбувається за рахунок сили тяжіння. У такому фільтрі під час роботи живильника забруднені шари фільтра безперервно або періодично виводяться з газоходу і замінюються чистими.

Властивість сипкості зернистих матеріалів використовують для створення фільтрів з середовищем, що рухається, і періодичним або безперервним видаленням з установки на регенерацію шару зерен, забитого пилом. Зазвичай

матеріал переміщається між сітками чи жалюзійними ґратами під дією гравітаційних сил.

Конструктивна схема насипного фільтра з рухомими фільтруючими шарами наведена на рис. 2.17.

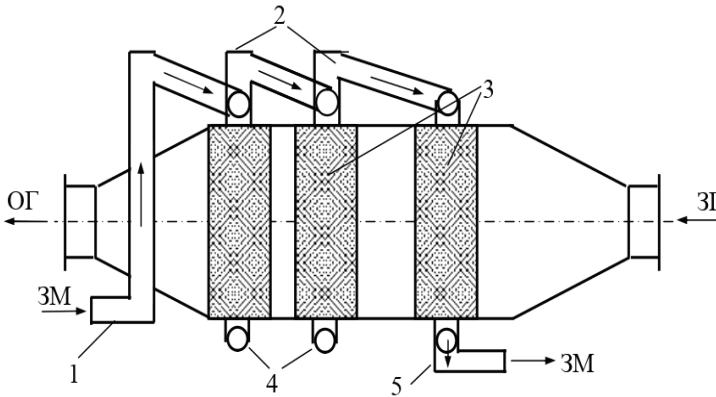


Рис. 2.17 – Схема насипного фільтра з рухомими фільтруючими шарами:

- 1 – короб для подачі свіжого зернистого матеріалу; 2 – живильники;
3 – фільтруючі шари; 4 – затвори; 5 – короб для виводу зернистого матеріалу

Перспективним напрямом вважається використання в якості фільтруючого середовища того ж матеріалу, що й вловлюваний пил. У цьому випадку забруднені гранули виводяться з системи газоочищення та використовуються в технологічному процесі.

Зернисті жорсткі фільтри. Керамічні, металокерамічні та інші жорсткі пористі перегородки займають особливе місце серед фільтрів, що регенеруються, у зв'язку з високою стійкістю їх до високої температури, корозії та механічних навантажень.

Істотними недоліками жорстких фільтрів, у порівнянні з тканинними, є їхня висока вартість, великий гідравлічний опір і труднощі здійснення тривалої регенерації, що значно скорочує термін їхньої служби.

Труднощі з регенерацією обумовлені глибоким проникненням високодисперсних частинок пилу в пори, звідки вони не видаляються. В результаті залишковий опір фільтрів безперервно збільшується, що призводить до необхідності демонтувати фільтруючі елементи для промивання або очищення іншими способами.

Жорсткі пористі фільтри рідко застосовуються в системах очищення повітря або газів великої продуктивності, оскільки опір їх великий і необхідно працювати при низькій швидкості фільтрації.

Найчастіше такі фільтри застосовують для фільтрації стиснутих газів, коли потрібно витримувати високий перепад тиску, а також при температурі 300–500 °С.

Жорсткі пористі фільтри застосовують для очищення невеликих об'ємів газів; при цьому елементи фільтрів встановлюють в окремих корпусах або технологічних апаратах (у печах сушіння та прожарювання, реакторах тощо).

2.4. Засоби мокрого очищення газових викидів від пилу

2.4.1. Класифікація обладнання для мокрого пиловловлювання

Метод мокрого очищення газів від пилу вважається доволі простим і в той же час дуже ефективним способом знепилювання.

Процес мокрого пиловловлювання ґрунтується на контакті насиченого пилом газового потоку з рідиною (барботажі). Внаслідок контакту з рідиною частинки пилу осаджуються на поверхню рідини та виносяться з апарата у вигляді шламу. Осадження частинок пилу на поверхню рідини відбувається під дією сил інерції та броунівського руху.

Процес очищення газів від завислих частинок у мокрих газоочисних апаратах супроводжується, зазвичай, процесами абсорбції та охолодження газів, тому всі типи мокрих газоочисних апаратів можуть застосовуватися для очищення газів не тільки від пилу та крапель рідини, але й від газоподібних складових, а також в якості теплообмінних апаратів. У ряді випадків доцільно використовувати мокрі газоочисні апарати для одночасного пиловловлення, абсорбції та охолодження газів. Мокрі газоочисні апарати знаходять все більше застосування в складних газоочисних системах як кондиціонери, для охолодження газів, що підлягають очищенню, для коагуляції завислих частинок і для підготовки газів, що надходять до газоочисних апаратів інших типів (електрофільтри, рукавні фільтри).

Переваги мокрих пиловловлювачів перед апаратами інших типів:

- порівняно невелика вартість та більш висока ефективність вловлювання завислих частинок, у порівнянні з сухими механічними апаратами;
- застосування для очищення газів від частинок розміром до 0,1 мкм;
- охолодження (контактний обмін) та зволоження (кондиціювання) газів;
- можливість застосування для очищення високотемпературних газових потоків;
- менші габарити, в порівнянні з тканинними фільтрами та електрофільтрами;
- можливість використання при високій температурі і підвищеній вологості газів, а також у разі небезпеки самозаймання або вибуху газів, що очищуються, або пилу, що вловлюється;
- можливість одночасного очищення від пилу та газоподібних забруднюючих речовин, тобто використання в якості абсорберів.

Недоліки методу мокрого очищення газів:

- продукт, який вловлюється, виділяється у вигляді шламу, що пов'язано з необхідністю обробки стічних вод і, відповідно, з подорожчанням процесу очищення;
- втрати рідини внаслідок бризкоуносу;

– в разі очищення агресивних газів апаратуру та комунікації необхідно виготовляти з антикорозійних матеріалів або застосовувати антикорозійні покриття;

– утворення відкладень в обладнанні та газопроводах при охолодженні газів до температури точки роси або механічному винесенні з газоочисного апарату газовим потоком крапель рідини;

– значні витрати енергії при високих коефіцієнтах очищення;

– необхідність організації оборотного циклу водопостачання (відстійники, що перекачують насосні, охолоджувачі), що значно збільшує вартість системи газоочищення;

– погіршення умов розсіювання пилу та шкідливих газів, що викидаються через димові труби в повітряний басейн.

В апаратах мокрого очищення в якості зрошувальної рідини, найчастіше, застосовують воду.

Порівняння мокрого очищення з сухим показує, що мокре очищення має меншу вартість (без шламового господарства) і, як правило, є більш ефективним, ніж сухе. Більшість мокрих пиловловлювачів можуть застосовуватися для вловлювання найдрібніших частинок, навіть менше 1 мкм.

Мокрі скрубери за ефективністю та іншими показниками не поступаються рукавним фільтрам та електрофільтрам, а по ряду показників їх перевершують (можливість очищення газів з високою температурою та підвищеною вологістю, безпека при вловлюванні пожежо- та вибухонебезпечної пилу).

Залежно від способу організації поверхні контакту фаз або за способом дії мокрі пиловловлювачі можна розділити на такі групи [4]-[8]:

– порожнисті газопромивачі (порожністі скрубери тощо);

– насадкові скрубери;

– барботажні та пінні апарати;

– скрубери ударно-інерційної дії;

– відцентрові скрубери;

– динамічні скрубери;

– швидкісні скрубери.

За витратами енергії мокрі пиловловлювачі поділяють на низько-, середньо- і високонапірні. До низьконапірних апаратів відносять пиловловлювачі, гідравлічний опір яких не перевищує 1500 Па. В цю групу входять форсунокві скрубери, насадкові скрубери, відцентрові скрубери тощо. До середньонапірних мокрих пиловловлювачів із гідравлічним опором від 1500 до 3000 Па відносять деякі динамічні скрубери, скрубери ударно-інерційної дії, ежекторні скрубери. Група високонапірних газопромивачів із гідравлічним опором більше 3000 Па включає, в основному, скрубери Вентурі.

За принципом підведення енергії мокрі апарати поділяють на три основні категорії:

– пиловловлювачі, що реалізують енергію газового потоку (скрубери Вентурі, ротоклони, відцентрові скрубери тощо);

– пиловловлювачі, які використовують енергію потоку рідини (порожністі скрубери, ежекторні апарати тощо);

– пиловловлювачі з підведенням механічної енергії (вентиляційні мокрі пиловловлювачі, дезінтегратори тощо).

До прийняття рішення про застосування мокрого способу очищення необхідно ретельно проаналізувати властивості викидів, що обробляються.

2.4.2. Порожністі газопромивачі

Порожністі скрубери призначені для очищення газу від достатньо великих частинок пилу (розміром більше 5 мкм) та їхнього охолодження.

В порожнистих газопромивачах частинки пилу захоплюються при їхньому пропусканні через завісу розпилювальної рідини. При цьому частинки пилу захоплюються краплями промивної рідини і осаджуються в апараті, а очищений газ видаляється з нього. Розпилювання рідини здійснюється форсунками, які встановлюються рядами.

Найбільш розповсюдженим апаратом цього класу є порожністий форсунковий скрубер, конструктивна схема якого наведена на рис. 2.18 [14].

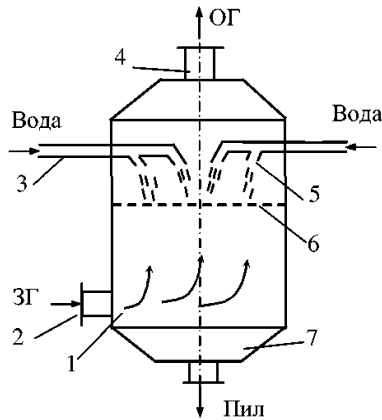


Рис. 2.18 – Конструктивна схема форсункового протиструминного скрубера: 1 – корпус; 2 – патрубок подачі запиленого газу; 3 – водопровід; 4 – патрубок відведення очищеного газу; 5 – форсунки для розпилення води; 6 – газорозподільна решітка; 7 – бункер для шламу;

Порожністі форсункові скрубери являють собою колони круглого або прямокутного перетину, в яких здійснюється контакт між газом і краплями рідини, що розпилюється форсунками.

За напрямом руху газу і рідини порожністі скрубери поділяються на протиточні, прямоточні і з поперечним підведенням рідини. При мокрому очищенні газових викидів від пилу частіше застосовують апарати з протиточним рухом газів і рідини, рідше – з поперечним зрощенням.

Прямоточні порожнисті скрубери найчастіше застосовуються при випарному охолодженні газів.

Форсунок встановлюють в апараті в одному або декількох перетинах: іноді рядами (до 14-16 в перетині), іноді тільки по осі апарата. Факел розпилю форсунок може бути направлений вертикально зверху вниз або під деяким кутом до горизонтальної площини.

При розташуванні форсунок в кілька ярусів (рис. 2.19) можливе комбіноване розташування розпилювачів: частина факелів направлена по ходу газу, інша частина – в протилежному напрямку. Для кращого розподілу газу за перетином апарата в нижній частині скрубера встановлюють газорозподільну решітку.

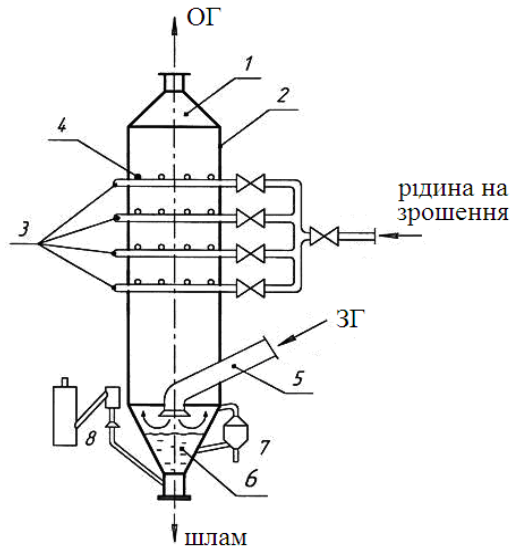


Рис. 2.19 – Конструктивна схема багатоярусного форсунокового скрубера:

- 1 – конфузори; 2 – корпус скрубера; 3 – яруси зрошення; 4 – форсунок;
- 5 – патрубок для підведення запиленого газу; 6 – збірник шламів; 7 – поплавкова камера; 8 – гідравлічний затвор

Гідравлічний опір порожнистого скрубера доволі незначний. За відсутності краплевловлювача і газорозподільвача він зазвичай не перевищує 250 Па.

Ефективність очищення в порожнистому протиточному скрубери підвищується зі збільшенням розміру крапель і зі збільшенням швидкості газу. Ступінь вловлювання частинок пилу більше 10 мкм в порожнистих форсунокових скруберах складає більше 90%, але для частинок меншого розміру він різко зменшується. Порожнисті форсунокові скрубери малоефективні при вловлюванні частинок пилу розміром менше 5 мкм.

2.4.3. Насадкові газопромивачі

Насадкові газопромивачі застосовуються для вловлювання тонкого пилу у вигляді туманів, добре розчинного пилу, а також при спільному протіканні процесів пиловловлення, охолодження газів та абсорбції.

Насадкові газопромивачі являють собою колонні апарати, в яких газ, що очищується, пропускається через нерухому насадку, яка заповнена галькою, коксом, кільцями з перегородками (Лессінга), кільцями Рашига чи Палля, кульками з полімерних матеріалів, скла або пористої гуми.

Ефективність вловлювання пилу в скрубєрі підвищується при застосуванні більш дрібної насадки, рівномірності зрошення і збільшення шару насадки.

Залежно від стану насадки ці газопромивачі можуть бути з нерухоною насадкою або з рухоною кульковою насадкою [15]. Апарати з нерухоною насадкою використовують для очищення газових викидів від тонкого пилу у вигляді туманів, добре розчиненого пилу та при спільному протіканні процесів очищення й охолодження.

В пиловловлюванні знайшли в основному застосування протиточні насадкові скрубєри, конструктивна схема якого наведена на рис. 2.20.

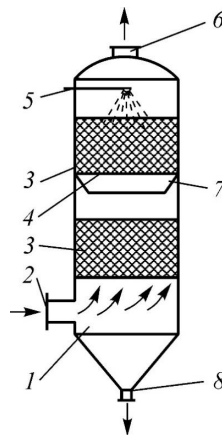


Рис. 2.20 – Конструктивна схема протиточного насадкового скрубєра: 1 – корпус скрубєра; 2 – вхідний патрубок; 3 – насадка; 4 – решітка для насадки; 5 – трубопровід для подачі рідини; 6 – вихідний патрубок; 7 – напрямний конус для рідини; 8 – штуцер для виведення шламів

Крім того, на практиці застосовують насадкові скрубєри з поперечним зрошенням (рис. 2.21). В таких скрубєрах для забезпечення кращого змочування поверхні насадки її шар зазвичай нахилений на 7-10° в напрямку газового потоку.

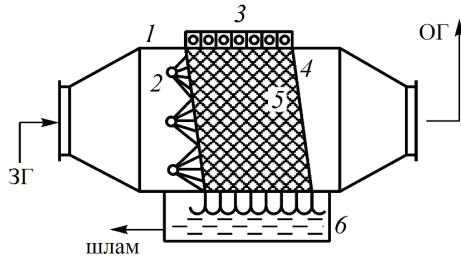


Рис. 2.21 – Конструктивна схема насадкового газопромивача з поперечним зрошенням:

- 1 – корпус; 2 – форсунки; 3 – зрошувальний пристрій; 4 – опорна решітка;
5 – насадка; 6 – збірник шламу

Ефективність вловлювання частинок розміром більше 2 мкм складає 90%. Їхнім недоліком є збільшення гідравлічного опору та зменшення продуктивності газопромивача внаслідок забруднення каналів між насадками.

2.4.4. Тарілчасті газопромивачі (барботажні, пінні)

В основі роботи тарілчастих газопромивачів лежить взаємодія газу з рідиною на тарілках різних конструкцій, причому характер взаємодії в значному ступені визначається швидкістю газового потоку. При малих швидкостях (приблизно до 1 м/с) газ проникає через шар рідини у вигляді бульбашок – відбувається *барботаж*.

Ефективність пиловловлювання в цьому випадку достатньо велика лише для частинок пилу більше 5 мкм. Внаслідок цього, а також невисокої продуктивності по газу, барботажні пиловловлювачі в теперішній час у промисловості практично не застосовуються.

Зі збільшенням швидкості газу взаємодія газового і рідинного потоків протікає більш інтенсивно і барботажний режим переходить в пінний. При цьому відбувається інтенсивне дроблення потоку на мілкі бульбашки та струмки з утворенням суцільної піни. Під дією газового потоку також відбувається відривання рідини з утворенням дрібних краплин та плівок. Утворюється розвинута поверхня масообміну, яка збільшує продуктивність та ефективність очищення газу *пінним* пиловловлювачем (можливо ефективне вловлювання частинок пилу з розміром більше 2 мкм).

Основним конструктивним елементом пінних пиловловлювачів є решітка або тарілка. Решітка разом з піною створюють полицю апарата. Решітки бувають дірчасті, щільні, трубчасті та колосникові. Апарати бувають одно- та багато полицні з провальними й переливними решітками.

Конструктивні схеми пінних пиловловлювачів наведено на рис. 2.22.

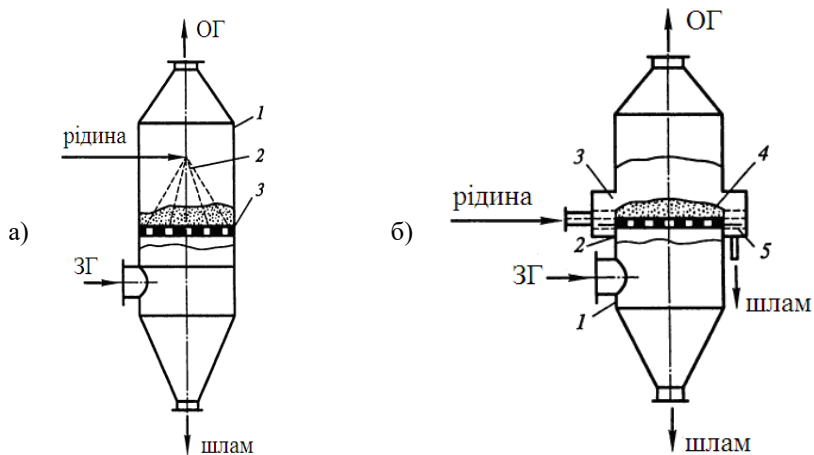


Рис. 2.22 – Конструктивні схеми пінних пиловловлювачів з решіткою:
 а) провальною: 1 – корпус; 2 – зрошувальний пристрій; 3 – решітка (тарілка);
 б) переливною: 1 – корпус, 2 – решітка (тарілка); 3 – приймальний короб;
 4 – поріг; 5 – зливна коробка

Головним параметром, що визначає гідродинамічний режим, є швидкість газу. Зі збільшенням швидкості газу зменшуються розміри апарату і ефективність пиловловлювання.

Газопромивачі застосовуються для вловлювання пилу, що погано змочується, з розміром фракцій більше 10 мкм, що дозволяє очищувати газ з запиленістю не більше 10 г/м³ зі ступенем очищення 96-99%.

2.4.5. Газопромивачі з рухомими шаром насадки

Апарати з рухомим шаром насадки з'явилися відносно недавно, але вже отримали достатньо широке розповсюдження в пиловловлюванні. В цих апаратах вловлювання пилу в основному відбувається в шарі рухомою насадки.

В якості насадки в таких апаратах найчастіше застосовуються порожнисті і суцільні шари кульок із полімерних матеріалів, скла або порожнистої гуми. Насадкою можуть бути й інші тіла, наприклад, кільця, сідла тощо.

Конструктивна схема *циліндричного газопромивача* з рухомою насадкою наведена на рис. 2.23.

Насадка у вигляді шару кульок знаходиться в постійному русі і тому пил не злипається. Простір між кульками насадки регулюється напором газу в апараті.

При пиловловлюванні в апаратах з рухомою насадкою рекомендується приймати швидкість газу в межах до 5-6 м/с (в 2-3 рази більша, ніж швидкість газу в пінних апаратах). Оптимальними з точки зору пиловловлювання є кульки

діаметром 20-40 мм. Мінімальна статична висота шару насадки складає 5-8 діаметрів кульок. Гідравлічний опір 300-1400 Па [16].

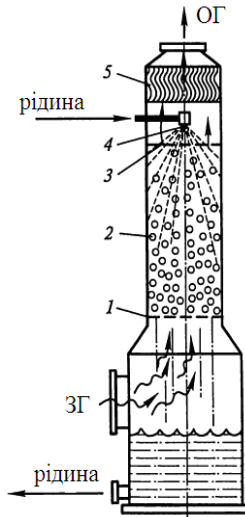


Рис. 2.23 – Схема циліндричного газопромивача з рухомою насадкою:
1 – опорна решітка (тарілка); 2 – насадка (шар кульок); 3 – відбивальна тарілка;
4 – зрошувач; 5 – бризковловлювач

Продуктивність за газом в апаратах з рухомою насадкою складає 3-120 тис. м³/год. Ступінь очищення від частинок пилу розміром більше 2 мкм – 97-99% (апарати мають більш високу ефективність, у порівнянні з пінними пиловловлювачами).

2.4.6. Ударно-інерційні газопромивачі

В основі роботи цих апаратів лежить принцип інерційного осідання частинок пилу при різкій зміні напрямку руху газового потоку над рідиною.

Контакт газу з рідиною здійснюється за рахунок удару газового потоку об поверхню рідини. Потім газорідинна суміш, що утворилася внаслідок удару, пропускається через отвори різної конфігурації. Внаслідок такої взаємодії утворюються краплі діаметром 300-400 мкм.

Особливістю апаратів ударно-інерційної дії є повна відсутність засобів перемішування рідини. Тому вся енергія, що необхідна для утворення поверхні контакту, підводиться з газовим потоком. Внаслідок цього газопромивачі ударної дії іноді називають апаратами з внутрішньою циркуляцією рідини.

Найбільш розповсюдженими апаратами цієї групи є газопромивачі з центральною трубою, скрубери Дойля та ротоклон.

Найбільш простим по конструкції є газопромивач з центральною трубою (рис. 2.24), що являє собою вертикальний апарат, в нижній частині якого знаходиться шар рідини.

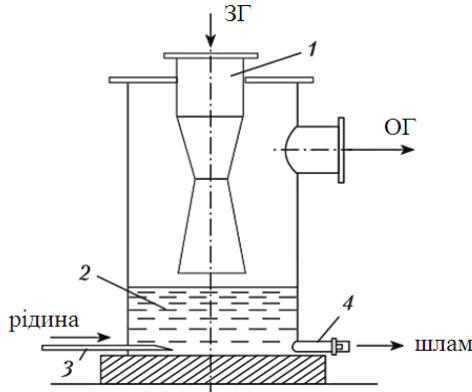


Рис. 2.24 – Газопромивач з центральною трубою:

1 – вхідний патрубок; 2 – резервуар з рідиною; 3 – сопло; 4 – патрубок для відведення шламу

При швидкості газу 20-30 м/с у вхідному патрубку вловлювання частинок пилу з розміром більше 20 мкм складає більш, ніж 90%, тобто їх можна застосовувати в якості першого ступеня очищення газу [7].

Подібну конструкцію має і скруббер Дойля (рис. 2.25).

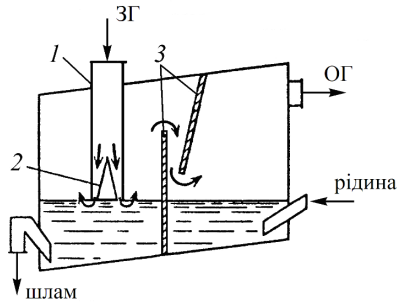


Рис. 2.25 – Конструктивна схема ударно-інерційного скруббера Дойля:

1 – труба; 2 – конус; 3 – перегородка

Гідравлічний опір скруббера Дойля складає 500-4000 Па. Ступінь вловлювання частинок пилу розміром більше 10 мкм складає 96-98%.

Газопромивач цієї ж групи – *ротоклон* (рис. 2.26) має частково занурені в рідину щілинні канали, через які проходить запилений газ, відтісняючи рідину до нижньої стінки. У вигляді водяних струменів рідина видаляється зі щілин.

При інтенсивному контакті газу з рідиною частинки пилу проникають у рідину і виводяться з апарату. Очищений газ виходить зверху.

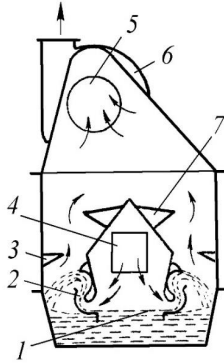


Рис. 2.26 – Конструктивна схема ударно-інерційного статичного ротоклону:
1 – бункер з водою; 2 – статор; 3 і 7 – відображувачі; 4 – вхідний патрубок;
5 – вихідний патрубок; 6 – вентилятор

Продуктивність ротоклонів складає від 4 до 40 тис. м³ газу. Гідравлічний опір ротоклонів – 1500-1900 Па. Апарат дозволяє вловлювати частинки пилу розміром більше 10 мкм з ефективністю очищення більше 90% при запиленості газу до 100 г/м³ [9]. Ротоклони доцільно встановлювати для очищення холодних або попередньо охолоджених газів.

2.4.7. Газопромивачі відцентрової дії

Підвищення ефективності пиловловлення скрубєрів досягається збільшенням відносної швидкості краплин та газового потоку за рахунок використання відцентрових сил обертального газового потоку.

За конструктивними особливостями скрубєри поділяються на апарати з тангенціальним підведенням газу (рис. 2.27, а) і апарати, в яких обертання газового потоку здійснюється за допомогою спеціальних направляючих лопатей (рис. 2.27, б) [7].

Відцентрові скрубєри зрошують через форсунки, що встановлюються в центральній частині апарату. Над форсунками у відцентрових скрубєрах знаходиться вільна від подачі зрошення зона, яка дає можливість краплям досягнути стінок апарату, перед тим, як із нього вийде газовий потік. Рідина, стікаючи по стінкам апарату, утворює плівку. Таким чином, відцентрові сили дозволяють підвищити ефективність пиловловлення і різко зменшувати виніс рідини з апарату.

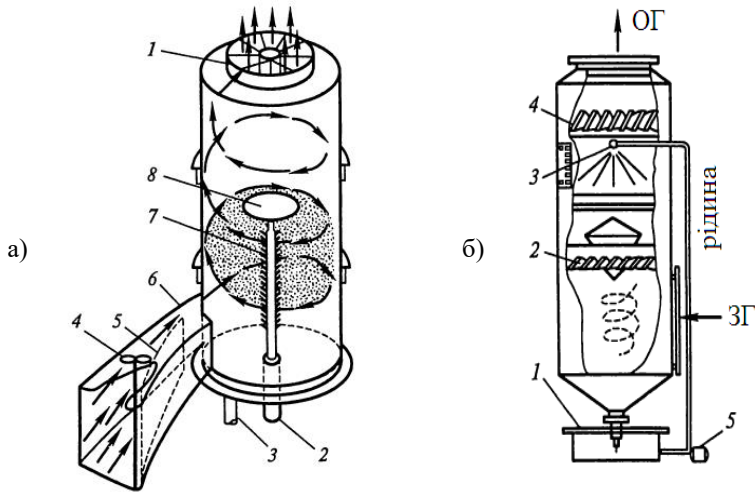


Рис. 2.27 – Конструктивна схема відцентрового скрубера [4]:

а) 1 – лопаті для вирівнювання потоку; 2 – центральний диск; 3 – система зрошення; 4 – пристрій для введення запиленого газу; 5 – заслінка, що обертається, на вході; 6 – шток; 7 – патрубок для шламу; 8 – патрубок для підведення зрошувальної рідини;

б) 1 – розкручувач для вирівнювання газового потоку; 2 – зрошувач; 3 – завихрювач для створення тангенціального руху газів; 4 – ємність для збору рідини; 5 – насос

2.4.8. Механічні газопромивачі

Характерною особливістю механічних газопромивачів є наявність обертального пристрою (ротора, диска тощо), який забезпечує розбризкування і перемішування рідини або обертання газового потоку.

В залежності від способу підведення механічної енергії апарати цього типу поділяються на дві групи. До першої групи відносяться газопромивачі, в яких газ, що очищується, приводиться в стикання з рідиною за допомогою обертального тіла (весла, диски, барабани). Дотепер такі апарати практично не застосовуються для очищення газу від пилу.

До другої групи відносяться відцентрові механічні газопромивачі, в яких механічна енергія, що додатково підводиться, служить для обертання газового потоку. Такі апарати отримали назву динамічних газопромивачів. Динамічні газопромивачі відрізняються від сухих ротаційних пиловловлювачів тільки підведенням зрошуваної рідини, яка сприяє підвищенню їхньої ефективності.

Один із представників газопромивачів цього типу є циклонно-ротаційний пиловловлювач ЦРП, схема якого наведена на рис. 2.28.

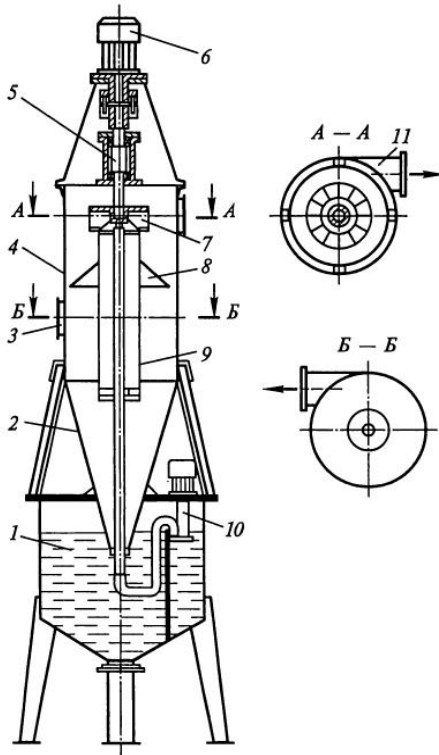


Рис. 2.28 – Циклонно-ротаційний пиловловлювач

Апарат ЦРП має ряд переваг: може працювати автономно (без вентилятора), ефективно вловлюється пил розміром менше 10 мкм.

2.4.9. Швидкісні газопромивачі (скрубери Вентурі)

Швидкісні газопромивачі – це ефективні високонапірні мокрі пиловловлювачі крапельної дії. Їх застосовують, головним чином, для очищення газів від мікронного та субмікронного пилу.

Принцип дії цих апаратів ґрунтується на інтенсивному дробленні газовим потоком, що рухається зі швидкістю 60-150 м/с, зрошувальної рідини.

До швидкісних газопромивачів відносяться [4]- [17]:

- діафрагмові (дросельні) скрубери (рис. 2.29, а);
- скрубери з рухомим дисковим шиберам (рис. 2.29, б);
- скрубери Вентурі (рис. 2.29, в).

Конструкції їх геометрично різні, але всі вони мають труби-розпилювачі, де забруднений потік газу рухається зі швидкістю до 150 м/с, розпилюючи при цьому потік рідини. Труба-розпилювач обов'язково має звуження, куди

подають рідину і де вона найбільш інтенсивно розпиляється і взаємодіє з потоком газу.

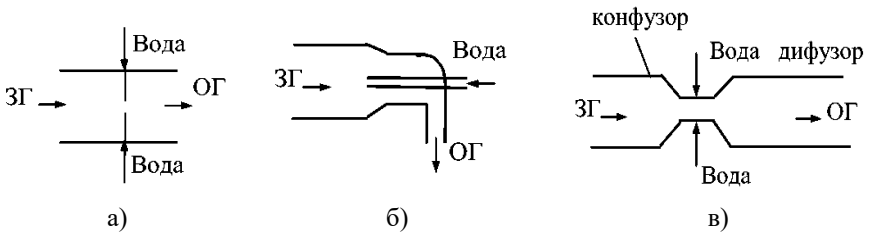


Рис. 2.29 – Конструктивні особливості швидкісних газопромивачів

Всі швидкісні газопромивачі характеризуються високим ступенем очищення, великими гідравлічними витратами і необхідністю встановлення краплевловлювача.

Найбільш розповсюдженим апаратом цього класу є скрубер Вентурі – найефективніший із всіх мокрих пиловловлювачів, що застосовуються в промисловості. У зв'язку з безперервно зростаючими вимогами до глибини очищення газопилових викидів промислових підприємств, скрубери Вентурі поступово становляться домінуючим видом мокрих пиловловлювачів.

Основна частина скрубера Вентурі з метою зниження шкідливих гідравлічних витрат виконується у вигляді труби Вентурі (рис. 2.30), що має плавне звуження на вході газу 1 (конфузор) і плавне розширення 2 на виході (диффузор). Вузька частина труби Вентурі 3 отримала назву горловини [7].

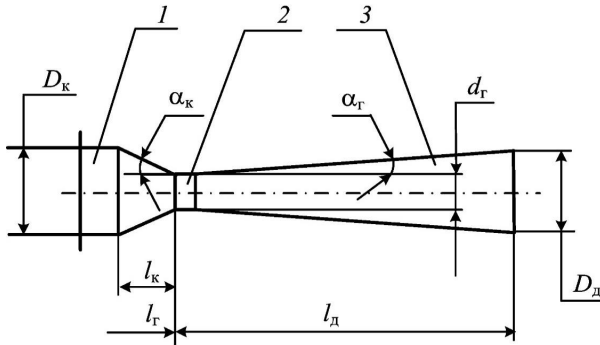


Рис. 2.30 – Конфігурація труби Вентурі:
1 – конфузор; 2 – горловина; 3 – диффузор

Скрубери Вентурі відрізняються високим ступенем очищення і великими гідравлічними витратами. По гідродинамічним характеристикам скрубери Вентурі поділяються на високонапірні і низьконапірні. Перші застосовуються для тонкого очищення газу від мікронного і субмікронного пилу і

характеризуються високим гідравлічним опором (до 20000-30000 Па). Другі застосовуються головним чином для підготовки газу перед іншими пиловловлюючими апаратами і для очищення аспіраційного повітря. Їхній гідравлічний опір не перевищує 3000-5000 Па.

На рис. 2.31-2.33 наведено різні типи пиловловлюючих установок з трубами Вентурі [9].

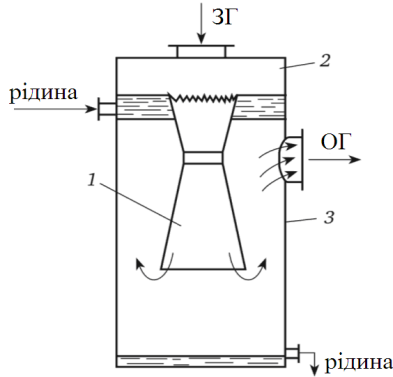


Рис. 2.31 – Труба Вентурі, змонтована всередині краплевлловлювача з плівковим зрошенням шляхом переливу рідини за периметром конфузору:

1 – труба Вентурі; 2 – змішувальна камера; 3 – краплевлловлювач

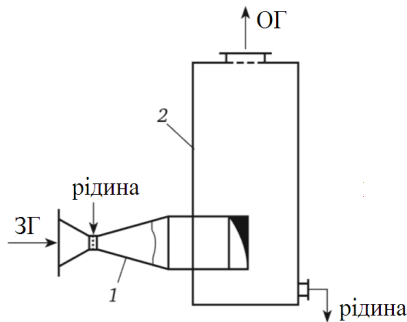


Рис. 2.32 – Труба Вентурі з виносним краплевлловлювачем з подачею рідини в горловину:

1 – труба Вентурі; 2 – краплевлловлювач

За конфігурацією поперечного перетину скрубери Вентурі бувають круглі, щілинні та кільцеві.

Конструктивні схеми скрубера Вентурі щілинного перетину, в якому регулювання площі горловини здійснюється за допомогою поворотних заслінок, та скрубера Вентурі кільцевого перетину, в якому вздовж осі переміщується регулювальний конус, наведені на рис. 2.34.

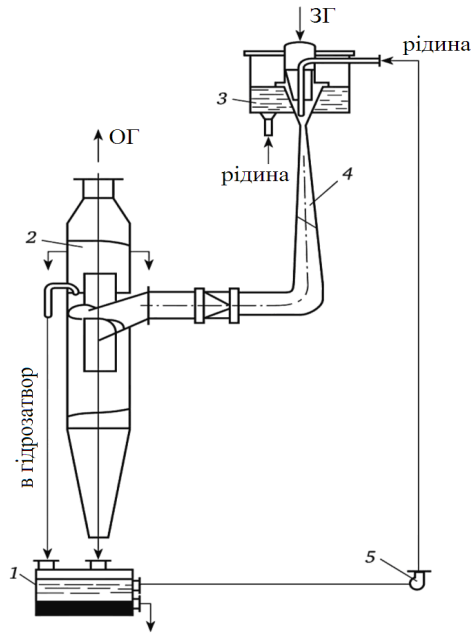


Рис. 2.33 – Труба Вентурі з виносним краплеловлювачем у вигляді циклону зі струминно-плівковим зрошенням:

- 1 – збірник рідини; 2 – циклон; 3 – камера змішування; 4 – труба Вентурі;
5 – насос

Труби з щільним і кільцевим перетином горловини застосовуються тоді, коли в процесі пилоочищення змінюються витрати запиленого газу. Підтримка певної швидкості газу в горловині при зміні його витрат досягається за рахунок зміни площі перетину горловини. В горловині щільного перетину це здійснюється поворотними заслінками, кільцевого – за рахунок переміщення вздовж осі труби регулюючого конуса.

Рідина в труби Вентурі найчастіше подається через форсунки, що встановлюються в конфузові з осьовим напрямом факела розпилу. Кількість форсунок визначається витратами рідини, що подається на зрошення.

Продуктивність скрубєрів Вентурі по газу складає від 2 до 500 тис. м³/год. Іноді при великих об'ємах газів для очищення застосовують батарейні або групові компонування скрубєрів Вентурі.

Скрубєри Вентурі забезпечують очищення газів від пилу з розміром частинок більше 1 мкм зі ступенем вловлювання 96-98%.

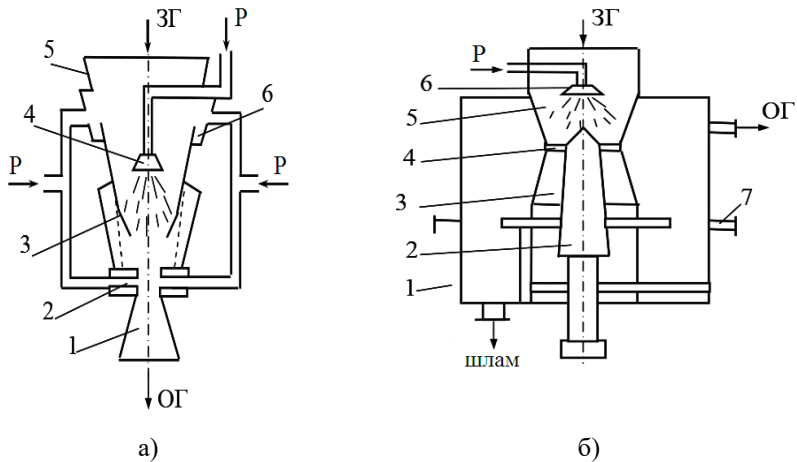


Рис. 2.34 – Конструктивна схема скрубера Вентурі:

- а) щілинного перетину: 1 – дифузор; 2 – форсунки нижнього ярусу зрошування; 3 – регульовальні лопаті; 4 – форсунка; 5 – конфузор; 6 – кишеньки плівкового зрошування;
- б) кільцевого перетину: 1 – корпус; 2 – регульовальний конус; 3 – дифузор; 4 – горловина; 5 – конфузор; 6 – форсунка; 7 – відцентровий краплевловлювач

2.5. Засоби електричного очищення газових викидів

2.5.1. Принцип дії електрофільтрів

Одним із найбільш універсальних методів є електричне очищення газів, яке може застосовуватися як самостійний метод, так і як другий ступінь очищення.

Електричне очищення газу – це процес, при якому завислі частинки пилу та туману видаляються з газоподібного середовища під впливом електричних сил.

Переваги електричного очищення газів:

- високий ступінь очищення газів – до 99%, а в окремих випадках і до 99,9%;
- можливість вловлювання частинок розміром 0,1 мкм і менше;
- широка межа концентрацій частинок у газі (від кількох міліграмів на 1 м³ до 200 г/м³) та дисперсності частинок (до часток мікрметра);
- низькі енергетичні витрати на вловлювання частинок, які складаються з витрат енергії на подолання газодинамічного опору апарату, що не перевищує 100-150 Па, та витрат електроенергії на створення електричного поля, які складають 0,3-1,8 МДж (0,1-0,5 кВт·год на 1000 м³ газу) [18];
- можливість очищення великих об'ємів газу, що відходить від агрегатів великої потужності;

- можливість очищення високотемпературних газів (до 500 °С);
- можливість роботи в агресивних середовищах;
- можливість повної автоматизації;
- широкий діапазон застосування (в теплоенергетиці, чорній та кольоровій металургії, хімії та нафтохімії, у будівельній індустрії, при виробництві добрив та утилізації побутових відходів, в атомній промисловості тощо).

Недоліки електричного очищення газів:

- висока чутливість процесу електричної фільтрації газів до відхилень від заданих параметрів технологічного режиму та до механічних дефектів внутрішнього обладнання в активній зоні апаратів;
- висока чутливість до підтримки параметрів очищення;
- неможливість очищення від вибухонебезпечного пилу;
- високі капітальні витрати на спорудження установок електрофільтрів через те, що ці апарати металомісткі;
- необхідність забезпечення спеціальними підвищувально-випрямляючими агрегатами для електроживлення;
- великі площі для встановлення електрофільтрів;
- висока вартість;
- висока вимогливість до рівня обслуговування.

Електрофільтр являє собою апарат з вертикальним і горизонтальним рухом газового потоку, в якому розташовані осадкові та коронуючі електроди. Осадкові електроди заземлені, а до коронуючих підводиться випрямлений електричний струм високої напруги від перетворювальної підстанції.

Установка для електричного очищення газів (рис. 2.35) складається з [18]:

- агрегатів живлення, призначених для подачі струму високої напруги на електроди електрофільтра;
- електрофільтра, в якому газ очищується від завислих у ньому частинок, та систем транспорту вловленого пилу.

Між двома осадковими площинами натягнуто ряд дротів. В простір між площинами надходить запилений газ. У полі коронного розряду частинки пилу заряджаються і рухаються до осадкових площин, з яких періодично видаляються.

Ступінь очищення тим вищий, чим менше швидкість газу і більша довжина поля (ширина осадкового електрода). Крім того, ступінь очищення буде тим вище, чим чистіше будуть електроди. При підвищенні вологості газів опір шару пилу знижується, що покращує ефективність пиловловлення.

2.5.2. Класифікація електрофільтрів

Електрофільтри класифікують за такими ознаками [19]:

- за способом видалення осаджених частинок;
- за кількістю полів та секцій, з яких складається активна зона електрофільтра;
- за напрямом ходу газу в активній зоні;
- за розташуванням зон зарядження та осадження;

- за типом електродної системи.

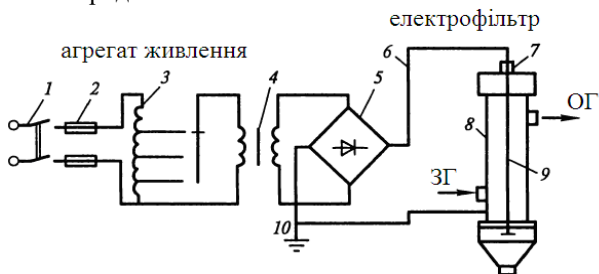


Рис. 2.35 – Схема електрофільтра:

- 1 – вимикач; 2 – запобіжний пристрій; 3 – регулятор напруги;
4 – трансформатор; 5 – випрямляч; 6 – кабель; 7 – ізолятор; 8 – осадовий електрод; 9 – коронуючий електрод; 10 – заземлення

За способом видалення осаджених на електродах частинок електрофільтри поділяються на сухі та мокрі.

В сухих електрофільтрах зазвичай вловлюються тверді частинки, які видаляються з електродів струшуванням і під дією сил тяжіння вони обсипаються в бункера з подальшим видаленням із апарату.

В мокрих електрофільтрах можуть вловлюватися тверді частинки, що змиваються з поверхні електродів зрошуваною рідиною (зазвичай водою). Змив може здійснюватися безперервно та періодично. Для періодичного промивання подають велику кількість води на електроди (в активну зону) при відключеній напрузі. На час промивання секції подачу газу припиняють.

Мокрі електрофільтри застосовуються для вловлювання рідких частинок – туману або краплинної вологи з газового потоку, причому спеціальні пристрої для промивання можуть бути відсутніми, якщо рідкі частинки самостійно стікають з електродів у міру їхнього накопичення. Перед надходженням газу в електричне поле мокрого електрофільтра може проходити процес охолодження газоповітряної суміші до насичення, оскільки мокрий пил вловлюється ефективніше.

Сухі електрофільтри застосовують, якщо кількість газу, що очищується, більша 80-100 тис. м³/год. Для очищення меншої кількості газів застосовують мокрі електрофільтри.

При підвищеному необхідному ступені очищення газів або при необхідності підвищених вимог стабільності очищення застосовуються мокрі електрофільтри, внаслідок відсутності вторинного винесення пилу. Однак для мокрих електрофільтрів характерні недоліки всіх мокрих пиловловлювачів – необхідність обробки шламів і корозія.

При виборі сухих електрофільтрів слід віддавати перевагу горизонтальним багатопільним електрофільтрам, в яких може бути досягнутий більш високий ступінь очищення.

Класифікація електрофільтрів за кількістю полів та секцій. Активна зона електрофільтра буває розділена на кілька електричних полів, через які газ, що очищується, проходить послідовно. Залежно від кількості послідовно розташованих електричних полів електрофільтри бувають однопільні або багатопільні. Залежно від кількості паралельних апаратів – одно- та багатосекційні.

Застосування кількох полів спрощує конструкцію електрофільтра, яка за великої довжини поля виявляється занадто громіздкою. Великі електрофільтри зазвичай ділять на дві секції, що паралельно працюють. З одного боку, це викликано прагненням обмежити кількість електродів, що підключаються до одного джерела живлення, а з іншого – секціонування дозволяє відключати частину установки, наприклад, для струшування або промивання електродів або для проведення ремонтних робіт, забезпечуючи пропуск газу з підвищеною швидкістю через не відключену частину електрофільтра; спрощує конструювання електрофільтрів великого перетину; полегшує рівномірний розподіл газів за перетином електрофільтра.

Класифікація електрофільтрів за напрямом ходу газу в активній зоні. Газ, що очищується в електрофільтрі, може проходити активну зону у вертикальному або горизонтальному напрямках. Відповідно електрофільтри можуть бути вертикальними та горизонтальними.

Вертикальні електрофільтри в основному застосовуються в разі обмеженого промислового майданчика.

Класифікація електрофільтрів за розташуванням зон зарядження та осадження. В промисловості використовуються два види електрофільтрів [18]:

- озонні електрофільтри (рис. 2.36), в яких зарядження та осадження частинок пилу здійснюються в одній зоні (застосовуються для очищення промислових газів);

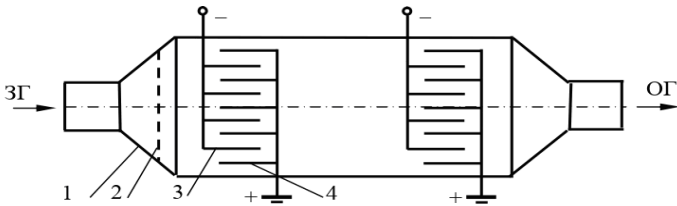


Рис. 2.36 – Конструктивна схема озонного двопільного електрофільтра:
1 – корпус; 2 – газорозподільна решітка; 3 – система коронуючих електродів;
4 – осадкові електроди

- двозонні електрофільтри (рис. 2.37), в яких процеси зарядження та осадження протікають у двох послідовних зонах – іонізаторі, де розміщені коронуючі та осадкові електроди, та осаднику (застосовуються в основному для тонкого очищення повітря в системах вентиляцій та кондиціонування).

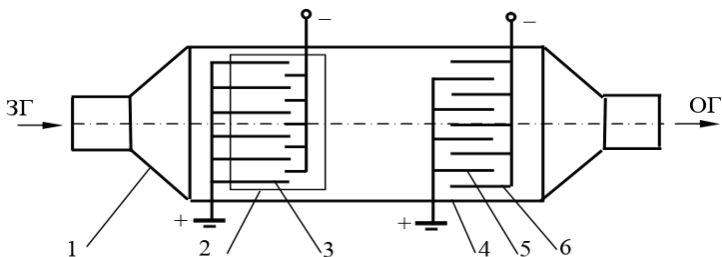


Рис. 2.37 – Конструктивна схема двозонного електрофільтра:
 1 – корпус; 2 – іонізатор; 3 – електроди іонізатора; 4 – осадник; 5 – осадові електроди; 6 – коронуючі електроди

Осадження заряджених частинок пилу здійснюється в осаднику, в електростатичному полі, утвореному рядом паралельних пластин, серед яких попарно чергуються заземлені пластини і пластини, що знаходяться під напругою. Повітря, що очищується, проходить через іонізатор, який виконаний з таким розрахунком, щоб при швидкості 2 м/с вловлюваний пил встиг зарядитися, але не встиг осісти.

Частинки пилу, що зарядилися, потоком повітря виносяться в осадник, що являє собою систему пластин. Чергування заземлених (негативно заряджених) пластин та пластин, приєднаних до позитивного полюса випрямляча, створює рівномірне електричне поле осадження. Заряджені частинки пилу осідають у полі осадника на пластинах протилежної полярності.

Висока напруженість поля (8-10 кВ/см) і мала відстань між пластинами (6-7 мм) зумовлюють високу швидкість осадження пилу. Для вловлювання 85-95% пилу достатньо перебування в осаднику протягом 0,2-0,4 секунд.

Двозонні електрофільтри застосовуються в основному для очищення вентиляційного повітря, а однозонні апарати отримали широке застосування для вловлювання пилу у всіх галузях промисловості.

Інтерес представляє однозонний електрофільтр із поперечним ходом газу, де осадові електроди встановлюються поперек ходу газового потоку і являють собою проникні для газу металеві перегородки (решітки, сітки тощо).

Між осадовими електродми встановлюються коронуючі.

Процес зарядження та осадження частинок пилу в електричному полі аналогічний тому, що проходить у звичайному однозонному електрофільтрі.

Незважаючи на велику ефективність, порівняно із звичайними однозонними електрофільтрами, електрофільтри з поперечним ходом газу не знайшли поки що широкого застосування в промисловості через конструктивну складність.

Класифікація електрофільтрів за типом електродної системи. За формою осадових електродів електрофільтри бувають з пластинчастими, С-подібними, трубчастими та шестигранными електродми.

Гладка поверхня осадового електрода необхідна для забезпечення максимальної напруженості електричного поля. Гладкі електроди прості у виготовленні, добре струшуються, але мають суттєвий недолік, пов'язаний з підвищенням вторинного винесення пилу при струшуванні пилу з електродів.

За цією причиною гладкі (пласкі) осадові електроди застосовуються при швидкості газу не більше 1 м/с. В той же час для забезпечення надійної роботи в умовах високих температур і сильних вібрацій конструкція осадового електрода повинна забезпечувати мінімальне вторинне винесення пилу і мати достатню механічну міцність.

Найбільше застосування отримали пластинчасті та трубчасті електрофільтри [19]. В трубчастих електрофільтрах осадові електроди (рис. 2.38) являють собою циліндри (трубки), всередині яких по осі розташовані коронуючі електроди. В переважній більшості випадків трубчасті електрофільтри застосовуються для вловлювання рідких компонентів.

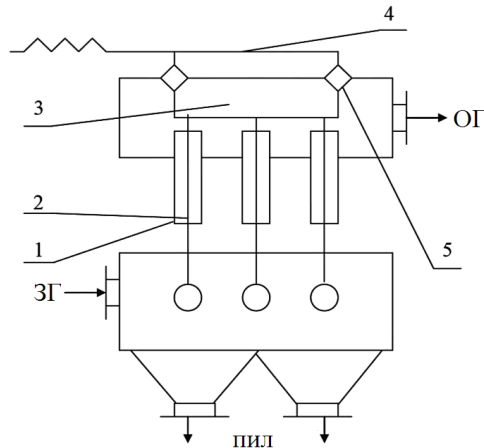


Рис. 2.38 – Конструктивна схема трубчастого електрофільтра:
1 – осадовий електрод; 2 – коронуючий електрод; 3 – рама; 4 – струшуючий пристрій; 5 – ізолятор

В пластинчастих електрофільтрах (рис. 2.39) між осадовими пластинчастими електродами натягнуті дротяні коронуючі.

Розглядаючи переваги і недоліки пластинчастих і трубчастих апаратів, слід зазначити, що розподіл газу в трубчастих апаратах відбувається більш рівномірно, ніж у пластинчастих. Трубчастий електрод дозволяє підтримувати в ньому вищі електричні навантаження. Звідси випливає, що в трубчастому електрофільтрі застосовуються більші швидкості газу, ніж у пластинчастих апаратах. Але можуть виникати складнощі під час очищення внутрішньої поверхні труб від вловленого продукту.

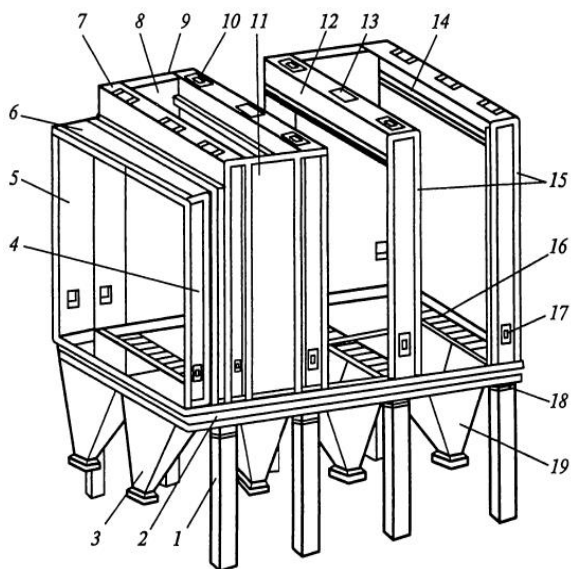


Рис. 2.39 – Корпус пластинчастого горизонтального електрофільтра:

- 1 – колона постаменту; 2 – опорний пояс корпусу; 3 – бункер форкамери;
- 4 – права стінка форкамери; 5 – ліва стінка форкамери; 6 – кришка форкамери;
- 7 – балка кришки корпусу; 8 – монтажний отвір; 9 – стінка ліва; 10 – втоплена ізоляторна коробка; 11 – стінка права; 12 – балка кришки корпусу;
- 13 – горловина люка обслуговування; 14 – опорний карниз для встановлення осадових електродів; 15 – стійка корпусу; 16 – майданчик обслуговування;
- 17 – горловина люка обслуговування; 18 – ковзна опора корпусу; 19 – бункер електричних полів

2.6. Інноваційні фітотехнології очищення повітря в містах

Забруднення навколишнього середовища, що збільшується з кожним роком, сприяє зростанню хронічних хвороб органів дихання, які значно частіше стали реєструватися серед дітей та підлітків. Відзначається помітне підвищення рівня хвороб нервової системи, органів почуттів, а також високий рівень психічних та алергічних захворювань серед всіх груп населення.

Саме тому необхідно вживати невідкладних заходів, спрямованих на відновлення якості повітряного середовища за участю рослин.

Рослинність забезпечує і регулює (в певних межах) газовий склад повітря, ступінь його забрудненості, кліматичні характеристики територій, знижує вплив шумового фактора, є джерелом естетичного відпочинку, забезпечує комфортність умов проживання в місті [20]-[27].

Основні функції рослинності в містах можна розділити на: санітарно-гігієнічні, рекреаційні та декоративно-художні.

Санітарно-гігієнічні функції:

- Очищення повітря. Дерева активно поглинають вуглекислий газ і відновлюють кисень. Одне дерево за 24 години відновлює стільки кисню, який необхідний для дихання трьох чоловік протягом того ж часу. Один га дерев хвойних порід затримує в рік до 40 тонн пилу, а листяних – близько 100 тонн.

- Іонізація повітря. Рослини збагачують повітря легкими негативно зарядженими іонами, що благотворно впливають на людину.

- Виділення фітонцидів, особливих летких органічних сполук, що вбивають хвороботворні бактерії або затримують їхній розвиток.

В чистих соснових лісах і лісах з переважанням сосни (до 60%) бактеріальна забрудненість повітря в 2 рази менше, ніж в березових.

З деревно-чагарникових порід, що мають антибактеріальні властивості та позитивно впливають на стан повітряного середовища міст, слід назвати акацію білу, барбарис, березу бородавчасту, грушу, граб, дуб, ялину, жасмин, жимолость, вербу, калину, каштан, клен, модрина, липу, ялівець, ялицю, платан, бузок, сосну, тополь, черемху, яблуню.

- Захист від шуму. Різні породи рослин характеризуються різною здатністю захисту від шуму. За даними угорських дослідників, хвойні породи (ялина та сосна), в порівнянні з листяними (деревні та чагарникові), краще регулюють шумовий режим.

По мірі віддалення від магістралі на 50 м листяні деревні насадження (акація, тополя, дуб) знижують рівень звуку на 4,2 дБ, листяні чагарникові – на 6 дБ, ялина – на 7 дБ і сосна – на 9 дБ.

Однорядна посадка дерев з живою огорожею з кущів шириною в 10 м знижує рівень шуму на 3-4 дБ; така ж посадка, але дворядна, шириною 20-30 м – на 6-8 дБ; 3-4-рядна посадка шириною 25-30 м – на 8-10 дБ; бульвар шириною 70 м з рядовою і груповою посадкою дерев і чагарників – на 10-14 дБ; багаторядна посадка або зелений масив шириною 100 м – на 12-15 дБ.

Високий ефект захисту від шуму досягається при розміщенні зелених насаджень поблизу джерел шуму і одночасно об'єкта, що захищається.

- Вплив зелених насаджень на формування мікроклімату, на утворення вітрів або зниження їхньої швидкості.

У спекотні дні нагріте повітря міської забудови піднімається вгору, а на його місце надходить більш холодне повітря з території зелених насаджень. У прохолодні дні повітряні течії не створюються.

Встановлено, що для зниження швидкостей вітру достатня наявність зелених смуг шириною 20-30 м, що розміщуються на певних дистанціях один від одного.

У глибині лісу на відстані 120-240 м настає повний штиль.

Рекреаційні функції рослин проявляються в задоволенні потреб людей у відпочинку, отриманні психологічної розрядки. Зелені рослини благотворно впливають на емоційну сферу, мають велику естетичну цінність, сприяють

збереженню гармонії навколишнього середовища і людини навіть в умовах таких антропогенно-змінених екосистем, як міста.

Декоративно-художня функція рослин полягає в можливості створення ландшафтів, планування простору та організації відпочинку міського населення. зелені насадження активно беруть участь у створенні ландшафтів житлових районів. Великі зелені масиви, що розташовані між окремими районами забудови, об'єднують їх, надають місту цілісність. Яскраві фарби рослин в різні пори року поживляють міський пейзаж.

Таким чином, роль озеленення в сучасних містах набуває все більшого значення, особливо в частині санітарно-гігієнічних функцій. В цьому напрямку працюють фахівці різних профілів: екологи, ботаніки, хіміки, медики, ландшафтні дизайнери, агрономи і багато інших.

2.6.1. «Зелені» покрівлі (GREEN ROOFS)

Урбанізація з таким завзяттям відвойовує собі все нові території, що незабаром, можливо, єдиним доступним місцем, щоб розбити невеликий садок, стануть дахи будинків. Зараз «зелені» дахи стали все частіше використовувати в містах [28]-[48]. Озеленення дахів – це створення на поверхні покрівлі штучного ґрунтового покриву, в якій можна посадити різні рослини.

Облаштування «зеленої» покрівлі. Процес облаштування та озеленення дахів сучасні архітектори запозичили і модернізували у жителів стародавньої Скандинавії. Тоді «зелені» дахи були досить важкі (настиляли великий шар ґрунту) і могли обвалитися всередину будинку. Щоб уникнути такої проблеми, в сучасних дахах використовують посилені і полегшені конструкції.

Будь-яка «зелена» покрівля складається з декількох шарів (рис. 2.40).

Основа. Це перший шар, що представляє собою несучі конструкції даху. Це можуть бути бетонні плити перекриття.

Гідроізоляційний шар. Всі рослини без винятку потребують поливу. Але даний вплив є дуже шкідливим для матеріалів, з яких виробляється дах. В даному випадку використовується гідроізоляція, що огорожує ґрунт від даху.

Бар'єр для коренів (захисний шар). Необхідний для захисту даху від пошкоджень, які можуть нанести коріння, що ростуть вглиб.

Дренажний шар. Він необхідний для того, щоб вчасно відводити вологу від коренів і не допускати їхнього загнивання (відповідно, загибелі рослин). Крім того, дренажна система сприяє вентиляції коренів, що сприятливо впливає на стан посадок в цілому.

Фільтраційний шар. Захищає систему дренажу від засмічення фрагментами ґрунту. Адже якщо помістити ґрунт відразу поверх дренажного шару, то дуже швидко в ньому практично не залишиться порожнин, і він перестане виконувати свої функції.

Родючий ґрунт. Рекомендується застосовувати легку ґрунтосуміш, що складається з нейтрального торфу, дрібного керамзиту та перліту. Можна додати глину, сланець, пісок. При цьому він повинен добре вбирати вологу і мати насичений мінеральний склад (для цього використовують добрива).

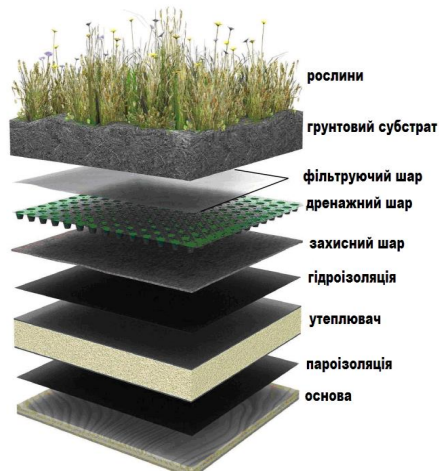


Рис. 2.40 – Структура «зеленої» покрівлі
<https://dominant-wood.com.ua/uk/blog/statti/zelenij-dah-vidi-i-osoblivosti-vstanovlennya>

Рослини. Після того, як буде укладено всі шари, можна висаджувати рослини.

Вимоги, що пред'являються до саду на даху

При створенні покрівлі з зеленими насадженнями необхідно взяти до уваги такі аспекти:

1. Кардинальне перетворення даху будівлі найкраще залишити професіоналам. Тут багато нюансів, врахувати і правильно реалізувати які зможуть тільки фахівці.

Взяти хоча б розрахунок оптимальної ваги для даху будівлі. Визначити точну вантажопідйомність основи майбутнього саду дуже важливо, оскільки дах і без того витримує шквальне навантаження кліматичних умов. Восени і навесні раз у раз трапляються зливи, влітку палить спекотне сонце, а взимку випадає сніг.

Також варто об'єктивно оцінити надійність фундаменту і міцність стін. При цьому обов'язково враховують додаткове навантаження, яке дасть сам ґрунт. Щоб у рослин були повноцінні умови для існування, знадобиться близько 50-100 кг на 1 м². Зробити правильні розрахунки зможуть тільки кваліфіковані фахівці.

2. Безпека людей (особливо дітей). Для того щоб перебування в саду, розташованому нагорі будівлі, було комфортним і безпечним, по всьому периметру повинні бути змонтовані парапети або спеціальні огорожі висотою від 1,2 м і вище, укріплена покрівля, а також передбачено захист від вітру – адже дах є зоною, що найбільш обдувається вітрами, особливо на великій висоті.

3. Індустріальність і сучасність конструкцій.

4. Повна екологічність усіх використовуваних матеріалів.

Для облаштування справжнього саду на даху необхідно використовувати тільки якісні матеріали, які пройшли сертифікацію. Це важливо з чисто практичної точки зору: якщо через погану якість завчасно зіпсується один шар, доведеться розібрати всю конструкцію.

У зв'язку, з особливостями експлуатованої покрівлі (складність і дорожняча ремонту, складність визначення місця протікання, складні умови експлуатації покрівельного килима тощо) необхідно застосовувати самі високоякісні гідроізоляційні матеріали, а роботи повинні проводити спеціалізовані покрівельні фірми.

5. Обов'язкове влаштування протикореневої ізоляції – від руйнівної сили коренів рослин.

6. Якість та функціональність всіх мереж. Коли мова йде про інтенсивне озеленення, потрібно ретельно вивчити найбільш економічний спосіб прокладання і експлуатації дренажу, водовідведення, електричних кабелів для освітлення. Все повинно бути надійним і довговічним.

7. Облік і розподіл додаткових навантажень на існуючий дах (спеціальні інженерні розрахунки) у зв'язку зі створенням саду. В тому числі приймається до уваги не тільки вага самого саду (полегшений ґрунтовий субстрат, рослини з урахуванням їхнього зростання, тяжкість конструктивних шарів, малі архітектурні форми), а й динамічні та вібраційні навантаження – робота механізмів – люди.

Ідеальною є ситуація, коли рішення про створення саду на даху приймається на стадії будівництва будинку. В цьому випадку можна заздалегідь провести всі розрахунки по навантаженню і створити необхідні умови для росту рослин (дренаж, посадочні місця, полив, гідроізоляція).

8. Прагнення до максимального полегшення ваги саду.

9. Створення спеціальних приміщень для зберігання інвентарю для догляду за садом.

10. Максимальна економічність.

З огляду на економічний і соціальний стан нашого суспільства, сади на дахах будівель можуть влаштовуватися на обмеженій кількості об'єктів, що мають налагоджені служби охорони і експлуатації (готелі, офіси великих фірм, громадські будівлі тощо).

Слід зазначити, що облаштування архітектурно-ландшафтних об'єктів на експлуатованих дахах вимагає великих одноразових витрат, налагодженої служби догляду за ними і високої культури користувачів цих об'єктів. Людина, що відвідує такий об'єкт, повинна твердо знати, що не можна пробувати силу на тих чи інших деталях експлуатованого даху, не можна викидати порожні пляшки та інші предмети з даху, розводити багаття для приготування шашликів і здійснювати інші «подвиги».

Вибір рослин для озеленення даху

Серед найбільш придатних рослин слід виділити:

- Сукуленти. Так називають рослини, які мають спеціальні тканини для накопичення і утримання вологи, за рахунок чого вони відмінно пристосовані до засух. Це кактуси, алое, очитки, гастерія, які ідеальні для саду через відсутність потреби в поливі.

- Грунтопокривні. Пряні трави (шавлія, м'ята, материнка, розмарин, лаванда, чебрець), седум, ломикамені, молодило, чебрець повзучий, а також сланкі флокси і ялівець. Навіть в не квітучому вигляді вони виглядають ошатно за рахунок яскравості листя.

- Злаки. Вони прекрасно виглядають на відносно рівній зеленій поверхні.

- Хвойні та листяні породи дерев. Айва, акація, декоративні види ялин, сосни і туї, шипшина, окремі види яблунь, кленів, бузок, калина, верба, чорноплідна аронія – велике число чагарників і дерев пристосоване для зростання на висоті. Однак слід враховувати, що використання таких насаджень потребують їхньої заміни через кілька років.

Для посадки на даху можна вибрати мох.

Щоб дах був ошатним і навесні, часто висаджують і дрібно-цибулинні – крокуси і нарциси.

Якщо є бажання зробити із «зеленої» покрівлі своєрідний квітник, то краще за все буде вибрати кілька сортів рослин, які будуть зацвітати один за одним (щоб все літо на «зеленому» даху що-небудь, та цвіло).

Важливо розуміти, що озеленення дахів і фасадів – це висадка рослин під пекучу спеку і сильний вітер. Тому не варто віддавати перевагу тендітним або тінюлюбним культурам.

На поверхні покрівлі можна розмістити і теплолюбні рослини, але висадити їх не в ґрунт, а в горщик, діжку, кашпо або контейнер. На зиму їх можна прибирати в приміщення, а навесні знову виносити на відкрите повітря.

Крім того, дах зовсім не обов'язково засівати виключно декоративними культурами. Ніхто не заважає розбити на його поверхні повноцінний город, і навіть поставити теплицю, наприклад, для вирощування помідорів.

Переваги застосування «зелених» дахів.

Інженерні та економічні переваги «зеленої» покрівлі:

1. Істотне збільшення терміну експлуатації конструкції (рослини на даху є природним захистом від коливань температур, механічних пошкоджень, впливу ультрафіолетового опромінення, електромагнітних випромінювань). Відчутний ефект економії коштів в перспективі 25 років (середній життєвий цикл звичайної покрівлі).

2. Пасивне теплозбереження – гарантується завдяки відмінним теплоізоляційним якостям «зеленої» покрівлі. Влітку тут зберігається приємна прохолода (завдяки природному випаровуванню вологи), а взимку – тепло. Це дає можливість істотної економії на опалювальних приладах і кондиціонерах. Саме тому, будівлі з «зеленим» дахом наближаються до стандартів пасивного будинку.

3. Водозбереження – здійснюється завдяки абсорбції дощової води. «Зелені» дахи накопичують багато вологи, що дає можливість полегшити роботу водостоків і запобігати затопленню. Крім того, чиста дощова вода використовується для поливу рослин.

4. Відмінна звукоізоляція: рослини на даху скорочують ступінь відбивання від поверхні даху звукових хвиль і істотно підвищують рівень звукоізоляції. При цьому шар ґрунту поглинає переважно низькочастотний звук, а рослинний шар – високочастотний.

5. Немає потреби в створенні спеціальних умов експлуатації, а також в додаткових вкладеннях.

6. Додаткова зона для відпочинку та розваг. При бажанні, на поверхні даху можна не тільки висадити рослини, а й поставити лавки, альтанки, спортивні тренажери, дитячі ігрові майданчики – словом, все те, що зазвичай дозволяє прекрасно проводити час на наземних зелених зонах.

7. Виключається ймовірність швидкого поширення вогню під час пожежі по покрівельній поверхні.

8. Можливість розміщення різних типів комунікацій як під час монтажу, так і після.

9. Простота виконання монтажних робіт.

Основні переваги з екологічної точки зору:

1. Додаткове джерело кисню. Згідно з дослідженнями, 150 м² «зеленої» покрівлі цілком достатньо для того, щоб забезпечувати необхідним киснем протягом року 100 чоловік.

2. Нейтралізує пил і шкідливі гази в навколишньому середовищі за допомогою їхньої абсорбції (цей ефект посилюється при поливі та зволоженні рослин).

3. Зменшення кількості вологи, що потрапляє в зливову систему каналізації у вигляді атмосферних опадів. Покриття з озелененням очищають дощову воду, в тому числі й від важких металів.

4. Створює природну зелену зону.

5. Покращує мікроклімат. Велика кількість «зелених» дахів в місті здатна зменшити температуру повітря за рахунок зменшення поверхонь, що нагріваються (як відомо, дахи будинків нагріваються найбільше). Крім того, регулюється вологість повітря (повільне випаровування води з рослинного шару підвищує вологість на території саду).

6. Шар рослин, які покривають дах, захищають його від впливу опадів, тим самим не дають можливості поширення гнилі та цвілі.

7. Можливість отримання нових просторів для життя флори та фауни. На «зелених» покрівлях можуть виживати десятки видів рослин, в тому числі й рідкісних, десятки видів комах, птахів та інших дрібних тварин. Наприклад, бджолині вулики на інноваційному виставковому центрі у Ванкувері, мед з яких подають в місцевому кафе до чаю, або забезпечення місць проживання рідкісних ящірок на покрівлі одного з бізнес-центрів в Берліні.

8. Повністю універсальна технологія. Її можна влаштувати в будь-якому куточку планети, де існує вегетативний ґрунтовий покрив.

Іміджеві та соціальні переваги:

1. Гарантує високий рейтинг під час проведення сертифікації на відповідність «зеленим» стандартам.

У зелених стандартах LEED, BREEAM, DGNB наявність «зелених» покрівель вважається компенсаційним заходом в рамках будівництва, що підтримує і відновлює біорізноманіття, перешкоджає забрудненню повітря і зменшує викиди парникових газів. Застосування комплексу цих заходів дозволяє набрати значну кількість балів і підвищити рейтинг будівлі при сертифікації.

2. Збільшується відсоток зелених насаджень в мегаполісі.

3. Підвищення естетичності самої будівлі і міста в цілому (надає покрівлі і всій будівлі гарного зовнішнього вигляду).

4. «Зелений» дах дозволить на деякий час абстрагуватися від умов міста, зніме зорову напругу та подарує трохи цілющої енергетики живої природи.

5. Підвищується комфортність житла на верхньому поверсі, що тягне за собою і збільшення ринкової вартості будівлі.

6. Поліпшення життєвих умов існування людей різних категорій, їх комфортного відпочинку, поліпшення стану здоров'я. Знижується рівень захворюваності хворобами органів дихальної системи (алергічні та астматичні захворювання).

7. Можлива реалізація ідеї про вирощування аграрних культур.

Недоліки застосування «зелених» дахів.

Використання рослинного покриву замість традиційного покрівельного матеріалу має цілу низку переваг, хоча і має свої недоліки.

До недоліків таких садів можна віднести те, що далеко не всі люди здатні добре переносити висоту, а також те, що на висоті людина може піддатися більш сильному випромінюванню як сонячному, так і тепловому, і значно більш сильним вітровим навантаженням. Високі парапети та надійні огороження, встановлення сонячних тентів, влаштування закритих від вітру соляріїв, посадка високих дерев, – зводять нанівець всі ці недоліки садів на даху.

Необхідно ретельно дотримуватися технології. Якщо забути укласти будь-який шар, то це призведе або до псування даху, або до загибелі рослин.

Виникає необхідність в обслуговуванні. Потрібно поливати, підживлювати. Часом може знадобитися заміна ґрунтового субстрату, що відслужив, на новий, висадка нових рослин.

Види озеленення дахів.

На сьогоднішній час існує два варіанти перетворення даху будівлі за допомогою рослинності – інтенсивний і екстенсивний.

Екстенсивне озеленення дахів (рис. 2.41). Так називаються посадки рослин, які вкрай невибагливі в догляді, легко переносять велику кількість сонячного світла, нестачу вологи, надлишок вологи. словом, практично не потребують обслуговування.



Рис. 2.41 – Схема екстенсивного озеленення дахів
<https://www.dach-holz.com/en/c/green-roof-systems-greenfond.46917>

Інша важлива особливість екстенсивної зеленої зони полягає в тому, що вона не передбачає експлуатації людиною, тобто виходу на дах, прогулянок, розваг і відпочинку на ній.

Як правило, екстенсивне озеленення використовується на дахах вже експлуатованих будівель. Спосіб застосовується для влаштування «зеленого» даху на житлових будинках, невеликих промислових підприємствах, торгових центрах, різних будівлях господарського типу, приватних будинках, зупинках, терасах, альтанках і гаражах.

Створений таким чином сад на даху зазвичай являє собою або невисокий газон, або ж багаторічники з цибулинною кореневою системою. Такі дахи служать декоративним елементом.

Сутність екстенсивного озеленення дахів полягає в застосуванні легкого ґрунту і невибагливих рослин, які не потребують регулярного поливу.

Рослини, що використовуються для екстенсивного озеленення дахів

В основному, для посадки використовуються витривалі вічнозелені види, що формують суцільний килим на покрівлі (рис. 2.42).

Головний критерій, за яким відбираються культури для створення «зелених» покрівель – це невибагливість, здатність гармонійно рости та розвиватися попри велику кількість сонячного світла, обмежена кількість вологи, вітряної погоди, а також задовільно переживати надмірний вплив атмосферних опадів.



Рис. 2.42 – Приклад зеленої покрівлі екстенсивного типу
(www.zinco-greenroof.com)

З урахуванням всіх цих характеристик пропонуються такі види рослин для екстенсивного озеленення:

- Седум. Він створює гарний суцільний трав'яний покрив, додаючи будинку, в деякій мірі, казковий вигляд. Це багаторічна культура, яка цвіте на початку літа (маленькими білими, червоними або жовтими квітами).

- Квітучі польові багаторічники (наприклад, середньоросла гвоздика). Для такого даху можна підібрати рослини, які цвітуть практично все літо, і створити з їхньою допомогою цікаву різнокольорову композицію.

- Газонні трави. Вони дозволяють сформувати на поверхні покрівлі рівний акуратний зелений покрив.

Крім того, в екстенсивному озелененні можуть використовуватися мохи, сукуленти, інші рослини, які не потребують особливого догляду і стійкі до заморозків, вітру, спеці.

Переваги екстенсивного озеленення дахів

1. Демократична вартість. Проєктування та створення екстенсивного «зеленого» даху коштує на порядок менше, ніж інтенсивне озеленення.

2. Висока швидкість реалізації. Оскільки подібні проєкти досить прості, втілення їх в життя не займе багато часу (і буде залежати, по більшій частині, від складності конфігурації даху і площі його поверхні).

3. Простота експлуатації. Це головна перевага екстенсивного озеленення, за яку його так полюбують домовласники. Покрівля буде виконувати всі свої функції і естетично виглядати, навіть якщо займатися її обслуговуванням пару разів на місяць.

4. Очищення повітря, оскільки рослини виробляють кисень, і додаткова зелена зона.

5. Тепло- та шумоізоляція. «Зелені» дахи відрізняються від конструкцій, покритих стандартними покрівельними матеріалами, набагато кращим

захистом від тепловтрат і проникнення вуличного шуму. Це забезпечує комфорт і економію на опаленні.

6. Захист від опадів і вітру. При правильному укладанні покрівельного пирога він буде надійно захищати дах і несучі конструкції від проникнення вологи, впливу вітру, пилу та бруду.

7. Невелика вага «зеленого» саду – такого навантаження, як при інтенсивному озелененні, дах будівлі випробовувати не буде.

8. Довгий термін служби.

Таким чином, екстенсивний варіант озеленення даху невибагливіший, але не переносить найменші навантаження.

Інтенсивне озеленення дахів (рис. 2.43) – це створення на його поверхні повноцінної зеленої зони з газонами, клумбами, кущами і деревами.

Інтенсивним воно називається, в тому числі, тому, що потребує регулярного догляду: поливання, поливу, обрізання і таке інше.



Рис. 2.43 – Схема інтенсивного озеленення дахів
(<https://www.dach-holz.com/en/c/green-roof-systems-greenfond.46917>)

Ще одна причина такої назви – активна експлуатація подібного даху людьми. Він може служити в якості прекрасного місця для розваг і відпочинку, тому на ньому можуть бути розташовані лавки, альтанки, ігрові майданчики, турнікети і багато іншого. Часто на таких дахах знаходяться басейни або невеликі водойми.

Крім того, на даху прокладають доріжки з найлегших сучасних матеріалів, використовують контейнерне озеленення, створюють унікальні ландшафтні композиції (влаштовують багатоярусні клумби, розарії, використовують легкі штучні валуни), проводять освітлення, поливальний водопровід, роблять дренаж, водовідведення (рис. 2.44).



Рис. 2.44 – Приклад зеленої покрівлі інтенсивного типу
(<https://aqua-svit.com.ua/>)

Зону для відпочинку та релаксації зможуть витримати пласкі, надійно укріплені дахи або дахи з невеликим ухилом.

Як правило, такі дахи формують на торгово-розважальних центрах, офісних і багатоповерхових будівлях. Озеленення дахів уже давно використовується в дорогих готелях.

Особливості садів на «даху».

1. Можливість озеленення великих площ, що дозволяє висаджувати різноманітні рослини, кущі та дерева.

2. Необхідність регулярного догляду. Оскільки такі дахи представляють собою складні рослинні системи, їм потрібно забезпечувати регулярну прополку, обрізку, полив і таке інше.

3. Можливість експлуатації людьми. Дахи з інтенсивним озелененням для того і створюються, щоб радувати людей своєю красою та надавати їм додатковий майданчик для приємного проведення часу. При бажанні тут можна влаштувати вечірки, займатися спортом, грати, спілкуватися з друзями або навіть вирощувати фрукти й овочі.

4. Наявність конструкцій для забезпечення безпеки відвідувачів. При розробці плану інтенсивного озеленення покрівлі особлива увага приділяється бордюрам, огорожам, поручням, сходам, освітлювальній системі – всьому тому, що надійно вбереже відвідувачів від падіння з висоти.

5. Збільшення зеленої площі. Це сприяє очищенню повітря від шкідливих домішок, виробленню кисню. Крім того, «зелений» дах уповільнює швидкість поширення пожежі і забезпечує додаткову тепло- і гідроізоляцію.

В такому саду комфортно відпочивати навіть у найспекотніші літні дні, оскільки покрівля сильно не нагрівається, зберігаючи свій мікроклімат завдяки випаровуванням вологи від рослин і водних пристроїв.

Від звичайного саду «зелений» сад на даху нічим не відрізняється, тому потребує від власника регулярного та повноцінного догляду (полив, прополка, обрізка, підживлення і таке інше). Як правило, такі дахи обслуговує садівник.

Таким чином, інтенсивне озеленення покрівлі дозволяє створити мальовниче місце для прогулянок, не витрачаючи, при цьому, жодного зайвого квадратного метра.

2.6.2. Вертикальне озеленення

Технологічний розвиток суспільства призводить до урбанізації. Жителі мегаполісів з щільною міською забудовою втрачають зв'язок з природою. Порушення екологічної рівноваги провокує дефіцит зеленого простору.

Поліпшення зовнішнього вигляду сучасних міст і мегаполісів – складне завдання, що змушує архітекторів шукати нові шляхи, які дозволяють поєднати цегляні і бетонні фасади будівель без втрати функціональної площі. В рамках вирішення цього завдання виникла технологія створення зелених фасадів повністю або частково покритих рослинністю. Це дуже зручно за короткий час створити барвисте живописне покриття стін будівель, терас, огорож дач, альтанок, майданчиків відпочинку – будь-яких вертикальних поверхонь.

Зелена архітектура і вертикальне озеленення в останнє десятиліття переживають бум, хоча з'явилися вони досить давно [49-69].

Сади ассірійської правительки Семіраміди можна назвати одним з перших прикладів вертикального озеленення (рис. 2.45).



Рис. 2.45 – Висячі сади Семіраміди

<https://obzor.lt/news/n37913.html>

Вавилонський цар Навуходоносор II, що жив у VII столітті до нашої ери побудував висячі сади спеціально для своєї дружини Амітіс, дочки Кіаксара, царя Мідії. Висячі сади являли собою піраміду, що складалася з чотирьох ярусів-платформ. Спочатку викладали шар очерету, попередньо змішаного з

смолою. Далі слідували два шари цегли, скріплені між собою гіпсовим розчином. На них укладалися свинцеві плити, і вже на цих плитах насипався шар родючого ґрунту, на якому висаджувалися трави, квіти, чагарники.

Кожна тераса розташовувалася на колонах 25 м заввишки, щоб всі рослини отримували достатню кількість сонячного кольору. Тераси мали багато виступаючих ділянок і балконів, між собою з'єднувалися сходами.

Система поливу такого величезного саду було досить складною – по трубі всередині колони вода надходила з підземних колодязів у відрах наверх, звідки у вигляді водоспадів спускалася на нижні тераси. По ходу водних потоків були влаштовані численні ставки та басейни, в яких водилися качки, жаби, бабки та метелики. У будь-якому місці саду можна було почути дзюрчання води і відчутти прохолоду.

Висячі сади можна було побачити далеко за межами міста і здавалися вони величезним квітучим зеленим пагорбом.

Після смерті Амітіс сади поступово стали приходити в запустіння. У IV столітті Вавилон був захоплений Олександром Македонським, який був так вражений красою садів, що влаштував у палаці свою резиденцію. Після смерті Олександра і місто, і палац, і сади прийшли в повний занепад. Землетруси довершили руйнування.

Цариця Ассирії Семіраміда жила двома століттями раніше влаштування знаменитих садів, але була широко відома в цих краях і божественно шанована. Можливо, тому вавилонські висячі сади отримали її ім'я, а не ім'я їхньої господині Амітіс.

Більшою чи меншою мірою такі способи озеленення застосовувалися в Греції і Римі.

Згодом, по мірі розвитку індустрії будівельних матеріалів і конструкцій та їхнього вдосконалення, сади на дахах стали з'являтися в усьому світі – США, Канаді, Японії та інших країнах.

Останнім часом технологія влаштування «зелених» фасадів все частіше використовується в багатьох архітектурних проектах житлових і офісних будівель по всьому світу.

В даний час накопичено великий досвід, створено багатий асортимент рослин і розроблена агротехніка їхнього вирощування, знайдено необхідні прийоми озеленення, специфічні для міст, визначені способи утримання зелених насаджень.

Використання технологій вертикального озеленення – це не тільки можливість для жителів будинків і орендарів офісів захиститися від забруднень повітря, отримати додаткове затінення, заощадити на енергії, але й візитна картка архітектурних проектів. Архітектори по всьому світу спільно з ботаніками придумують і реалізують девелоперські об'єкти, які вражають уяву.

Стіни будинку, повіті кучерявими рослинами, виглядають красиво, загадково, надають екстер'єру будівлі особливого шарму.

Види вертикального озеленення.

Існують дві основні категорії вертикального озеленення: «живі» стіни і «зелені» фасади.

«Зелені» фасади (рис. 2.46) складаються з витких рослин, які самостійно ростуть, піднімаючись по допоміжним конструкціям стін. В цьому випадку, вся маса рослин і квітів передається на стіну будівлі. При цьому коріння рослин знаходяться в землі поруч з фундаментом будівлі.



Рис. 2.46 – Технологія «зелений» фасад

<https://www.buildwithrise.com/stories/amp/benefits-of-green-facades-for-your-home>

До стіни кріплять каркас. Він може бути металевий, дерев'яний або зроблений з мотузок. Саме його будова нагадує клітчатий папір. Далі через клітини пускаються рослини.

Більш складна технологія «живих» стін (рис. 2.47) відрізняється тим, що рослинність вирощується в ґрунті або особливій суміші, що його імітує, яка укладається в спеціальний геотекстильний матеріал, а потім поміщається в поліпропіленові пластикові контейнери. Для «живих» стін в обов'язковому порядку необхідно створювати систему іригації.

З відмінностей від «зелених» фасадів можна виділити і саму зелень. Для «живої» стіни використовуються трав'яні рослини. Але вони куди більш вибагливі. Контейнери з травою оснащують датчиками дощу. Це зроблено для того, щоб рослини не засохли.

Вибір рослин для «зелених» фасадів. На самому початку потрібно підібрати рослини. В основному вибір падає на зелень, яка росте на скелях або в інших незручних місцях. Це зроблено для того, щоб використовувати мінімум ґрунту.

Далі їх треба грамотно розташувати: у верхній частині будівлі знаходяться рослини, які люблять сонце та світло, а в нижній – шанувальники тіні.

Ще вибір залежить і від розташування стіни щодо сторони світу, і, звичайно ж, від клімату.



Рис. 2.47 – Технологія «живих» стін
(<https://dendro.kyiv.ua/vertikalne-ozelenennya.html>)

Для вертикального озеленення найкраще використовувати морозостійкі, невибагливі до різних зовнішніх факторів, красиво квітучі декоративно-листяні рослини та ті, які повзають або в'ються. Дуже красиво і вражаюче виглядають кущі багаторічників, бульбові та цибулинні рослини. Правильно підібрані рослини вимагають мінімального догляду.

Найпоширеніші, що не поступаються у своїй красі – це ліанові рослини, які можуть підніматися на висоту до 25 м та «обживати» будь-які яруси саду, парку, створюючи дивної форми хитромудрі фігури. Крім того, можна робити живопліт з деревних ліан, але більш ефективно і красиво виглядатимуть однорічні квітучі ліани з неквітучими багаторічними.

Дівочий виноград (рис. 2.48) і *плющ* – не вимагають створення конструкцій для вертикального озеленення фасадів будівель. Завдяки вусикам ці рослини самі чіпляються за опору і розростаються, створюючи красиву зелену стіну.



Рис. 2.48 – Вертикальне озеленення фасаду «Greenway», Англія
(<https://rubryka.com/article/vertical-garden/amp/>)

Для озеленення стовбурів дерев, вертикальних елементів саду підійдуть: виноград японський, жимолость, плющ тощо.

У вертикальному озелененні велике значення почало набувати використання контейнерних рослин – пеларгонії, фуксії, плющі (рис. 2.49). Це розвішані каскадами всілякі кашпо з квітами, ящики з різного матеріалу (пластик, волокно), які по-новому прикрасять терасу, балкон, стіну тощо.



Рис. 2.49 – Озеленення з використанням контейнерних рослин
(<https://surl.li/ntlvvb>)

Внесуть новизну в прикрашання ландшафту підвісні вертикальні клумби (рис. 2.50) або вежі з квітів (рис. 2.51), розташовані в кілька ярусів, що дає можливість створювати унікальні квіткові композиції з однорічних рослин.



Рис. 2.50 – Озеленення з використанням підвісних вертикальних клумб
(<https://surl.li/uedkzw>)



Рис. 2.51 – Озеленення з використанням веж із квітів

<https://surl.li/thbotl>

Для створення вертикальної «зеленої» стіни використовуються спеціальні контейнери для квітів, стінки яких сітчасті, оброблені гігроскопічним матеріалом або гідропонні блоки, які утримують вологу.

Дуже красиво в саду виглядає арка або пергола, встановлена над садовою доріжкою (рис. 2.52.). Така конструкція візуально розширює простір. Її можна виготовити з дерева або металевих прутів скріплених між собою. Найбільш ефектною рослиною для озеленення арки будуть в'юнки троянди. Так само підійдуть клематиси, жимолость та імпомея.

Особливо красиво виглядають кілька арок одна за одною, створюючи прекрасний квітучий коридор.



Рис. 2.52 – Озеленення з використанням арок із квітів

<http://megaogorod.com/article/2191-arki-dlya-roz-svoimi-rukami-vhod-v-cvetushchiy-ray>

Переваги вертикального озеленення.

1. Поліпшення якості повітря. Рослини діють як природний фільтр: виділяють кисень і поглинають вуглекислий газ. Хороший мікроклімат позитивно позначається на здоров'ї та самопочутті мешканців. У приміщенні стає легше дихати. Організм насичується киснем, поліпшується стан шкіри. Власники вертикальних садів відзначають плюси озеленення в хорошому самопочутті та підвищеній енергійності.

2. Захист конструкцій від вітру, пилу та атмосферних опадів. Вертикальне висаджування рослин виступає в ролі своєрідної перепони, що пом'якшує негативні зовнішні впливи на конструкцію будівлі.

3. Рослини будуть вбирати дощову воду, тобто служити природним дренажем. Під стінами ніколи не будуть накопичуватися калюжі, навіть якщо про додатковий стік господарі не подбали. Крім того, це забезпечує зниження навантаження на систему міської зливової каналізації.

4. Звукоізоляція. Великою проблемою міського жителя є шум. Купи машин, сирен, все це розсіює увагу при роботі, може заважати сну. А поганий сон веде до поганих наслідків. До того ж, в містах часто проводяться будівництва, від яких виходять жахливі гучні звуки. Шумоізоляція будівлі повинна вирішувати цю проблему. Хоча найчастіше вона не дуже справляється. Але її можна поліпшити шляхом озеленення фасаду. Листя будуть поглинати частину шуму. Ще вони створять природне звукове середовище. Якщо зайнятися внутрішнім і зовнішнім озелененням можна зменшити мікроклімат, який створюється будівлею.

5. Терморегуляція і відведення вологи. Рослини підвищують теплоізоляцію приміщення, це знижує втрату тепла.

При цьому зелень захищає і від сонця. У жаркий період листя виділяють вологу, не даючи йому перегрівати будівлі. Це допомагає охолодити приміщення природним способом, заощадити на системі кондиціонування.

Це все означає те, що, охолоджуючи або нагріваючи кімнату, температура не буде блискавично випаровуватися. Рослини можуть її зафіксувати в комфортному становищі.

6. Суцільна стіна зелені дасть густу тінь. Це чудово для веранди, тераси, патіо поруч з будинком. Та й в кімнатах всередині буде помітно прохолодніше і затишніше в спекотні літні дні.

7. Збереження площі. Стіни – не функціональний для людини простір. При звичайному розміщенні квіткових горщиків витрачається багато місця. Зелень на будинках буде виконувати ті ж функції, що й дерева. Тільки «зелені» фасади займають менше місця, так як розташовані на площі, що не використовується.

8. Дизайн. Розташовані вертикально рослини спочатку виглядають вражаюче. Оригінальний декор підкреслює смак і статус власника житла. Квітучі сади приковують увагу. Вони можуть оживити навіть саму нудну площу, сформувати дружню обстановку, зробити кімнату затишною.

9. Естетичний зовнішній вигляд.

Зелений колір рослин надає позитивний ефект на сприйняття людини. Вибрані рослини можуть перетворити стіну, огорожу або альтанку в справжній витвір мистецтва, створений природою.

Також озелененням будівель можна закрити зовнішню непривабливість будинку. Досить часто живі рослини в рамках вертикального озеленення висаджують для того, щоб приховати, наприклад, стару застарілу стіну, ремонт якої з яких-небудь причин недоцільний.

10. Відсутність поверхні, на яку можна нанести графіті.

11. Збільшення кількості біологічних видів рослин на міській території.

Недоліки вертикального озеленення. Мінуси вертикального озеленення є. Вони не суттєві та, в основному, пов'язані з особливостями рослин:

1. Підвищена вологість. Листя виробляють вологу, яка створює сприятливі умови всередині приміщень. Для оформлення екстер'єру потрібно враховувати розташування фітостен. Не рекомендується масове розміщення рослинності на північних і північно-західних стінах будівель. Сирість призводить до утворення грибка і поступового руйнування споруди.

2. Можливість алергії. Один з мінусів озеленення полягає в тому, що пилок дивовижних рослин може провокувати алергічні реакції (рис. 2.53). Якщо у мешканців є захворювання дихальних шляхів або передумови до них, краще використовувати не квітучі рослини, наприклад, мох.



Рис. 2.53 – Вертикальне озеленення будинку за допомогою гліцинії

(<https://archidea.com.ua/amp-page/home/landscape/358839-aromatna-glicinya-v-dizayn-sadu>)

3. Сміття. Вертикальне оформлення стін ліанами виглядає гармонійно, коли листя живі. При зміні листяного покриву утворюються відходи, які потрібно прибирати. Зростаючи до дахів в'юнкі ліани можуть забивати водостоки. Рослинність в приміщенні теж має певний термін життя. Загіблі квіти псують всю картину, тому їх слід замінити здоровими.

4. Руйнівний ефект. Деякі види ліан з потужною кореневою системою можуть пошкодити асфальт або доріжки біля будинку. Рекомендується садити такі сорти в невеликому віддаленні від стін будівлі.

5. Тінь. Її не можна назвати однозначним мінусом озеленення. Насадження закривають від сонця балкони та вікна. Якщо сторона будинку темна і холодна, краще прикрасити іншу ділянку.

Перелік літературних джерел до розділу 2

1. Гумницький Я. М., Петрушка І. М. Інженерна екологія. Загальний курс : навч. посіб. Ч. 2. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2016. 348 с.
2. Зацеркляний М. М., Столевич Т. Б., Зацеркляний О. М. Процеси захисту навколишнього середовища : підручник. Київ : Фенікс, 2017. 454 с.
3. Батлук В. А. Акустичні пиловловлювачі. Львів : Афіша, 2000. 208 с.
4. Ратушняк Г. С., Лялюк О. Г. Засоби очищення газових викидів: навч. посіб. Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. 207 с.
5. Гічов Ю. О. Очищення газів. Частина I : Конспект лекцій. Дніпропетровськ : НМетАУ, 2015. 51 с.
6. Крусір Г. В., Мадані М. М., Гаркович О. Л. Техніка та технології очищення газових викидів [Електронний ресурс] : навч. посіб. Одеса : ОНАХТ, 2017. 207 с.
7. Процеси та апарати природоохоронних технологій [Текст] : підручник в 2-х т. Т.1 / Л. Д. Пляцук та ін. Суми : СумДУ, 2017. 435 с.
8. Технології захисту навколишнього середовища. Ч.1. Захист атмосфери : підручник / В. Г. Петрук та ін. Херсон : Олді+, 2019. 432 с.
9. Северин Л. І., Петрук В. Г., Безвозюк І. І., Васильківський І. В. Природоохоронні технології. Частина I. Захист атмосфери : навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2012. 388 с.
10. Білогуров Ю. М., Булавін О. В., Мнускіна Ю. В. Технологія очищення газових викидів. Донецьк : ДонНТУ, 2010. 123 с.
11. Мартиненко С. А. Сучасні технології захисту атмосфери : навч. посіб. для студентів вищих навчальних закладів екологічного профілю. Кропивницький : ЦНТУ, 2019. 155 с.
12. Сарапіна М. В. Процеси та апарати пило газоочищення : курс лекцій. Харків : НУЦУ, 2018. 125 с.
13. Чернякова О. І. Методи захисту атмосфери : конспект лекцій. Одеса : ОДЕКУ, 2019. 89 с.
14. Бекетов В. Є. Технології захисту атмосферного повітря міст : конспект лекцій для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності 183 – Технології захисту навколишнього середовища. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. 85 с.
15. Герасимов О. І. Теоретичні основи технологій захисту навколишнього середовища : навч. посіб. Одеса : ТЕС, 2018. 228 с.
16. Теверовський Б. З. Розрахунки пристроїв для очищення промислових газів від пилу : навч. посіб. Київ : НМК ВО, 1991. 89 с.
17. Панасенко А. І. Технологія очищення от аерозолів. Донецьк : ДонНТУ, 2008. 119 с.
18. Гічов Ю. О. Очищення газів. Частина II : конспект лекцій. Дніпропетровськ : НМетАУ, 2015. 46 с.
19. Юркевич Ю. С., Возняк О. Т., Желих В. М. Промислові технології та очищення технологічних і вентиляційних викидів : навч. посіб. Львів : НУ "Львівська Політехніка". 2012. 120 с.
20. Mwendwa, P., Giliba, R. A. (2012). Benefits and Challenges of Urban Green Spaces. *Chinese Journal of Population Resources and Environment*, 10 (1), 73-79.

21. Ali Belmeziti, A., Cherqui, F., Kaufmann, B. (2018). Improving the multi-functionality of urban green spaces: Relations between components of green spaces and urban services. *Sustainable Cities and Society*, 43, 1-10.
22. Semeraro, T., Scarano, A., Buccolieri, R., Santino, A., Aarrevaara, E. (2021). Planning of Urban Green Spaces: An Ecological Perspective on Human Benefits. *Land*, 10 (2), 105.
23. Anguluri, R., Narayanan, P. (2017). Role of green space in urban planning: Outlook towards smart cities. *Urban For. Urban Green*, 25, 58-65.
24. Bowler, D. E., Buyung-Ali, L., Knight, T. M., Pullin, A. S. (2010). Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landsc. Urban Plan*, 97, 147-155.
25. Farahani, L. M., Maller, C. (2018). Perceptions and Preferences of Urban Greenspaces: A Literature Review and Framework for Policy and Practice. *Landsc. Online*, 61, 1-22.
26. Setälä, H., Viippola, V., Rantalainen, A. L., Pennanen, A., Yli-Pelkonen, V. (2013). Does urban vegetation mitigate air pollution in northern conditions? *Environ. Pollut.*, 183, 104-112.
27. Seamans, G. S. (2013). Mainstreaming the environmental benefits of street trees. *Urban For. Urban Green.*, 12, 2-11.
28. Manso, M., Teotónio, I., Silva, C. M., Cruz, C. O. (2021). Green roof and green wall benefits and costs: A review of the quantitative evidence. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, 110111.
29. Shafique, M., Kim, R., Rafiq, M. (2018). Green roof benefits, opportunities and challenges – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 99, 757-773.
30. Cascone, S. (2019). Green Roof Design: State of the Art on Technology and Materials. *Sustainability*, 11 (11), 3020.
31. Cascone, S., Gagliano, A., Poli, T., Sciuto, G. (2019). Thermal performance assessment of extensive green roofs investigating realistic vegetation-substrate configurations. *Build. Simul.*, 12, 379-393.
32. Berndtsson, J. C. (2010). Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review. *Ecol. Eng.*, 36, 351-360.
33. Akther, M., He, J., Chu, A., Huang, J., Duin, B. (2018). Van A Review of Green Roof Applications for Managing Urban Stormwater in Different Climatic Zones. *Sustainability*, 10, 2864.
34. Castleton, H. F., Stovin, V., Beck, S. B. M., Davison, J. B. (2010). Green roofs; building energy savings and the potential for retrofit. *Energy Build.*, 42, 1582-1591.
35. Saadatian, O., Sopian, K., Salleh, E., Lim, C. H., Riffat, S., Saadatian, E., Toudeshki, A., Sulaiman, M. Y. (2013). A review of energy aspects of green roofs. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 23, 155-168.
36. Berardi, U., Ghaffarianhoseini, A., Ghaffarianhoseini, A. (2014). State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs. *Appl. Energy*, 115, 411-428.
37. Sha, M., Kim, R., Ra, M. (2018). Green roof benefits, opportunities and challenges – A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 90, 757-773.
38. Cascone, S., Coma, J., Gagliano, A., Pérez, G. (2019). The evapotranspiration process in green roofs: A review. *Build. Environ.*, 147, 337-355.
39. Vijayaraghavan, K. (2016). Green roofs: A critical review on the role of components, benefits, limitations and trends. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 57, 740-752.

40. Coutts, A. M., Daly, E., Beringer, J., Tapper, N. J. (2013). Assessing practical measures to reduce urban heat: Green and cool roofs. *Build. Environ.*, 70, 266-276.
41. Rowe, D. B. (2011). Green roofs as a means of pollution abatement. *Environ. Pollut.*, 159, 2100-2110.
42. Coma, J., Pérez, G., Solé, C., Castell, A., Cabeza, L. F. (2016). Thermal assessment of extensive green roofs as passive tool for energy savings in buildings. *Renew. Energy*, 85, 1106-1115.
43. Van Mechelen, C., Van Meerbeek, K., Dutoit, T., Hermy, M. (2015). Functional diversity as a framework for novel ecosystem design: The example of extensive green roofs. *Landsc. Urban Plan.*, 136, 165-173.
44. Cascone, S., Catania, F., Gagliano, A., Sciuto, G. (2018). A comprehensive study on green roof performance for retrofitting existing buildings. *Build. Environ.*, 136, 227-239.
45. Semeraro, T., Aretano, R., Pomes, A. (2019). Green Roof Technology as a Sustainable Strategy to Improve Water Urban Availability. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, 471, 092065.
46. Korola, E., Shushunova, N. (2016). Benefits of A Modular Green Roof Technology. *Procedia Eng.*, 161, 1820-1826.
47. Shafique, M., Kim, R., Rafiq, M. (2018). Green roof benefits, opportunities and challenges – A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 90, 757-773.
48. Berardi, U., Hoseini, A. H. G., Hoseini, A. G. (2014). State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs. *Appl. Energy*, 115, 411-428.
49. Besir, A. B., Cuce, E. (2018). Green roofs and facades: A comprehensive review. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 82, 915-939.
50. Sheweka, S. M., Mohamed, N. M. (2012). Green Facades as a New Sustainable Approach Towards Climate Change. *Energy Procedia*, 18, 507-520.
51. Radić, M., Brković Dodig, M., Auer, T. (2019). Green Facades and Living Walls – A Review Establishing the Classification of Construction Types and Mapping the Benefits. *Sustainability*, 11 (17), 4579.
52. Perini, K., Ottelé, M. (2014). Designing Green Facades and Living Wall Systems for Sustainable Constructions. *Int. J. Des. Nat. Ecodyn.*, 9, 31-46.
53. Sheweka, S., Magdy, N. (2011). The Living Walls as an Approach for a Healthy Urban Environment. *Energy Procedia*, 6, 592-599.
54. Pérez, G., Coma, J., Martorell, I., Cabeza, L. F. (2014). Vertical Greenery Systems (VGS) for Energy Saving in Buildings: A Review. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 39, 139-165.
55. Bustami, R. A., Belusko, M., Ward, J., Beecham, S. (2018). Vertical Greenery Systems: A Systematic Review of Research Trends. *Build. Environ.*, 146, 226-237.
56. Medl, A., Stangl, R., Florineth, F. (2017). Vertical Greening Systems – A Review on Recent Technologies and Research Advancement. *Build. Environ.*, 125, 227-239.
57. Hop, M., Hiemstra, J. A. (2012). Contribution of Green Roofs and Walls to Ecosystem Services of Urban Green. *Acta Hort.*, 990, 475-480.
58. Ottelé, M., Perini, K., Fraaij, A. L. A., Haas, E. M., Raiteri, R. (2011). Comparative Life Cycle Analysis for Green Facades and Living Wall Systems. *Energy Build.*, 43, 419-3429.
59. Coma, J., Pérez, G., Solé, C., Castell, A., Cabeza, L. F. (2014). New Green Facades as Passive Systems for Energy Savings on Buildings. *Energy Procedia*, 57, 1851-1859.

60. Pérez-Urrestarazu, L., Fernández-Cañero, R., Franco-Salas, A., Egea, G. (2016). Vertical Greening Systems and Sustainable Cities. *J. Urban Technol.*, 22, 65-68.
61. Widiastuti, R., Prianto, E., Budi, W. S. (2016). Performance Evaluation of Vertical Gardens. *Int. J. Arch. Eng. Const.*, 5, 13-20.
62. Pérez, G., Rincón, L., Vila, A., González, J. M., Cabeza, L. F. (2011). Green Vertical Systems for Buildings as Passive Systems for Energy Savings. *Appl. Energy*, 88, 4854-4859.
63. Maricruz, S. J. (2018). Green walls: A Sustainable Approach to Climate Change, a Case Study of London. *Archit. Sci. Rev.*, 61, 48-57.
64. Davis, M. J. M., Ramírez, F., Vallejo, A. L. (2015). Vertical Gardens as Swamp Coolers. *Procedia Eng.*, 118, 145-159.
65. Pugh, T. A. M., MacKenzie, A. R., Whyatt, J. D., Hewitt, C. N. (2012). The Effectiveness of Green Infrastructure for Improvement of Air Quality in Urban Street Canyons. *Environ. Sci. Technol.*, 46, 7692-7699.
66. Pérez, G., Coma, J., Barreneche, C., Gracia, A., Urrestarazu, M., Burés, S., Cabeza, L. F. (2016). Acoustic Insulation Capacity of Vertical Greenery Systems for Buildings. *Appl. Acoust.*, 110, 218-226.
67. Sutton, R. (2014). Aesthetics for Green Roofs and Green Walls. *J. Living Archit.*, 2, 1-20.
68. Mayrand, F., Clergeau, P. (2018). Green Roofs and Green Walls for Biodiversity Conservation: A Contribution to Urban Connectivity? *Sustainability*, 10, 985.
69. Perini, K., Rosasco, P. (2013). Cost Benefit Analysis for Green Facades and Living Wall Systems. *Build Environ.*, 70, 110-121.

РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ ВОДНИХ РЕСУРСІВ

3.1. Удосконалення технології очищення забруднених нафтопродуктами стічних вод автотранспортних підприємств

Транспорт – один із найважливіших компонентів суспільного та економічного розвитку, що поглинає значну кількість ресурсів та суттєво впливає на навколишнє природне середовище. Діяльність підприємств автотранспортного комплексу відноситься до екологічно небезпечних процесів, що призводить до забруднення екосистеми, як в цілому, так і окремих її складових. В даний час висувуються жорсткі вимоги до якості стічних вод, що скидаються від автотранспортних підприємств і автомобільних мийок у каналізаційну, а тим більше в зливову мережу. Це викликає необхідність встановлення локальних очисних споруд та максимального використання оборотної системи водопостачання підприємства.

Основним джерелом забруднення навколишнього середовища на автотранспортних підприємствах є мийка автомобілів. При цьому основними забруднювачами стічних вод автотранспортних підприємств є нафтопродукти та завислі частинки. Інших будь-яких хімічних речовин в них міститься незначна кількість, в зв'язку з чим спрощується процес очищення.

Сира нафта, а також численні продукти її переробки, що широко використовуються в народному господарстві, потрапляють в значних кількостях в атмосферні, промислові та господарсько-побутові стічні води і разом з ними надходять у відкриті водойми, ґрунти, підземні водоносні горизонти, порушуючи хід природних біохімічних процесів, викликаючи загибель флори і фауни озер, річок і морів, знижуючи родючість ґрунтів [1]-[12]. Таким чином, стічні води, що містять нафтопродукти, стали одним з глобальних забруднювачів довкілля.

Скид неочищених або недостатньо очищених стоків, що містять нафтопродукти, у водойми небезпечний не тільки тим, що, незважаючи на багаторазове розведення, робить воду непридатною для побутового використання, а й тим, що риба з її кормовими об'єктами (планктоном і бентосом) відчуває сильну токсичну дію нафтопродуктів.

При недостатньому очищенні стічних вод, що містять нафту та нафтопродукти, вплив їх на водойми виявляється в появі нафтової плівки на поверхні води, зменшенні кількості розчиненого кисню, відкладенні важких нафтопродуктів на дні водойми, появі у води нафтових запаху та присмаку.

При зниженні запасу розчиненого кисню і порушенні процесу реаерації відбувається погіршення якості води водойми, що негативно відображається на життєдіяльності організмів, які населяють водойму, і особливо на рибак (ослаблення дихання, сильне схуднення і загибель риби). Крім того, плівка нафтопродуктів вбиває тваринний і рослинний планктон, що служить їжею для риби. Під впливом хвилювань, вітру нафтова плівка переміщується до берегів, забруднює їх та прибережну рослинність нафтою.

Легкі фракції нафти випаровуються. Важкі фракції, що залишаються при руйнуванні плівки, занурюються на дно, внаслідок чого утворюється осад, який є джерелом вторинного забруднення водойм нафтопродуктами. Утворення відкладень нафтопродуктів на дні водойми відбувається також внаслідок осадження твердих завислих речовин, які спочатку збираються на межі «нафта – вода» разом з іншими забрудненнями, що потрапили на поверхню води. При осадженні вони захоплюють з собою нафтопродукти. В результаті утворення осаду з нафтопродуктів, на дні водойми відбувається отруєння його донного населення.

Нафтопродукти у воді в більшій мірі впливають на органолептичні показники. Вони надають воді водойм нафтового запаху і присмаку, внаслідок чого вода може стати непридатною для водопостачання населених пунктів, що розташовані нижче випуску стічних вод.

Стічні води, забруднені нафтопродуктами, впливають не тільки на якість води поверхневих водойм. З поверхні землі при безпосередній інфільтрації стічних вод нафтопродукти можуть надходити і у водоносний шар підземних вод, погіршуючи їхній склад і фізичні властивості. У зв'язку з цим в підземних водах виявляються ароматичні вуглеводні, нафтопродукти, феноли та інші токсиканти.

Звідси випливає, що для мінімізації забруднення водних об'єктів необхідність підвищення ефективності роботи очисних споруд очевидна. Це вимагає вдосконалення існуючих технологічних схем очищення нафтовмісних стічних вод автотранспортних підприємств.

Існуючі очисні споруди для вловлювання завислих частинок і залишків нафтопродуктів, в основному діють за методом флотаційного очищення, складні, вимагають реагентної обробки води з застосуванням коагулянтів, не забезпечують надійної якості очищення води [13]-[29].

Іноді на автотранспортних підприємствах взагалі відсутні будь-які очисні споруди, внаслідок чого стічні води скидаються в каналізаційну мережу або в прилеглі поверхневі водойми, що є неприпустимим, оскільки стоки містять у великій кількості нафтопродукти.

Крім того, на мийку автомобілів витрачається величезна кількість питної води, що пройшла дорогу обробку на водопровідних станціях або подається з артезіанських свердловин.

Дефіцит запасів прісної води та подорожчання її підготовки призводять до необхідності мінімізації негативного впливу шкідливих речовин на гідросферу. Це можливо тільки в результаті впровадження вдосконалених технологій очищення стічних вод, які дозволять знизити їхній вплив на водні об'єкти, підвищити якість їхнього очищення та використовувати в системах оборотного водопостачання [30].

Метою дослідження є вдосконалення технологічної схеми очищення стічних вод автотранспортного підприємства на основі їхньої попередньої обробки в спорудах механічного очищення для зниження вмісту нафтопродуктів та завислих речовин до нормативних показників якості води,

що дозволить використовувати очищену воду в системах оборотного водопостачання.

Зазвичай, автотранспортне підприємство характеризується складною і налагодженою структурою, оскільки перелік робіт, що виконує підприємство, має широкий спектр завдань і функцій. Звідси високий потенціал забруднення навколишнього середовища, який варіюється в залежності від специфіки підприємства [31].

На автотранспортному підприємстві вода витрачається на такі потреби:

- технологічні;
- допоміжного і підсобного виробництва;
- господарсько-питні.

Витрати води на технологічні потреби включають в себе водоспоживання на мийку автомобілів або на домив машин, мийку деталей і вузлів автомобілів, заповнення радіаторів системи охолодження автомашин, забезпечення водою споживачів, розташованих на окремих виробничих ділянках.

Максимальні витрати води (80-85% від усього об'єму виробничих стічних вод автотранспортного підприємства) припадають на зовнішнє миття автомобілів для видалення забруднень, що покривають поверхні автомобіля під час експлуатації, оскільки рухомому складу автомобільного транспорту доводиться працювати в різних дорожніх умовах, як в межах міста, так і на замських маршрутах, по дорогам з твердим покриттям і ґрунтових, при різних погодних умовах – в суху й сиру погоду, в літній та зимовий час. Від перерахованих умов залежить ступінь забруднення автомобілів.

Особливістю забруднення автомобілів є те, що до забруднюючих речовин, отриманих в результаті експлуатації в різних умовах, додається бруд, що виникає при заправці та технічному обслуговуванні автомобіля. Частинки бруду та пилу немов би склеюються поміж собою за допомогою маслянистих речовин, які потрапляють із багатьох зчленувань деталей, вузлів і агрегатів автомобіля, причому в місцях зчленувань шар масла, змішуючись з пилом, утворює масу, здатну при висиханні створювати плівку. Такий характер забруднень є серйозною перешкодою для змивання їх з поверхні автомобіля.

Таким чином, витрати води на мийку автомобіля в першу чергу визначаються ступенем забруднення його поверхні. У табл. 3.1 представлено усереднені дані витрат води на мийку поверхні одного автомобіля в залежності від його типу.

Таблиця 3.1 – Витрати води на мийку поверхні одного автомобіля [32]

Тип автомобіля	Витрати води на мийку, м ³
Автомобілі малої вантажопідйомності (від 1 до 3 тонн)	1,0
Автомобілі великої вантажопідйомності, вище 3 тонн, в тому числі великовантажні автосамоскиди	2,0
Автобуси довжиною вище за 7,5 м	1,4
Автобуси малої довжини до 7,5 м	1,0

Вода, що використовується в технологічних процесах миття машин, забруднюється завислими речовинами, компонентами миючих розчинів (ПАР), маслами та нафтопродуктами. У табл. 3.2 представлені орієнтовні концентрації забруднюючих речовин в стічних вод автотранспортних підприємств від мийки автомобілів.

Таблиця 3.2 – Характеристика забруднень виробничих стічних вод від мийки автомобілів в залежності від категорії автотранспорту [33]

Категорія автомобілів	Концентрація забруднюючих речовин, мг/л			
	завислі речовини	нафтопродукти	pH	БСК _{повн}
Легкові	700	42	6,5-8	70
Вантажні малої вантажопідйомності	1180-2800	50-100		140
Вантажні середньої вантажопідйомності	1300-3100			
Вантажні великої вантажопідйомності	3420			
Автобуси	2000	55		

Виробнича каналізація забезпечує відведення виробничих стічних вод. За відсутності в районі підприємства каналізаційної мережі, очищення стічних вод автотранспортного підприємства, а також вибір місця їхнього спуску повинні проводитися з дотриманням правил охорони поверхневих вод від забруднення їх стічними водами [33], [34].

У систему каналізації приймаються виробничі стічні води, які не порушують роботу каналізаційних мереж і споруд, забезпечують безпеку їхньої експлуатації та можуть бути знешкоджені разом з господарсько-побутовими стічними водами до вимог і нормативів «Правил охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами».

Таким чином, перед спуском в зовнішні мережі виробничі стічні води повинні піддаватися очищенню на локальних очисних спорудах до ступеня, який встановлюється нормами проектування зовнішніх мереж каналізації [35].

Враховуючи, що автомобільні мийки найчастіше розташовуються в місцях, які не мають каналізаційних мереж, стічні води можуть скидатися безпосередньо в поверхневі водойми. В цих випадках до якості вод, що скидаються, пред'являються вимоги по залишковим концентраціям забруднюючих речовин на рівні гранично допустимих концентрацій (ГДК) для водойм рибогосподарського призначення, а саме вміст нафтопродуктів в стоках не повинен перевищувати 0,05 мг/л [36].

На теперішній час очищення стічних вод на локальних очисних спорудах автотранспортного підприємства до таких концентрацій є вельми складним процесом і вимагає значних капітальних та експлуатаційних витрат. В такому

випадку оптимальним рішенням є влаштування системи оборотного водопостачання стічних вод на автотранспортному підприємстві.

Ступінь очищення стічних вод повинен задовольняти вимогам, що пред'являються до якості води для виробничих потреб, наведеним в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Характеристика якості води для виробничих потреб

Найменування обладнання (призначення)	Показники якості води, мг/л:	
	завислі речовини	нафтопродукти
Обладнання для зовнішньої мийки: - легкових автомобілів та автобусів	40	15
- вантажних автомобілів	70	20

На досліджуваному автотранспортному підприємстві здійснюється флотажне очищення забруднених нафтопродуктами стічних вод. Кількість стічних вод, що утворюються від мийки автотранспорту, складає 399,76 м³/добу. Вміст завислих речовин у стічних водах після мийки автомобілів становить 1429 мг/л, нафтопродуктів – 572 мг/л.

Напірні гідроциклони в блоці з бункером застосовуються для виділення зі стічних вод і накопичення грубодисперсних структурних домішок, гідравлічна крупність яких становить 3-4,6 мм/с. Флотажна установка призначена для подальшого очищення забруднених нафтопродуктами стічних вод, що пройшли обробку на напірних гідроциклонах. Технологічні параметри очищення забруднених нафтопродуктами стічних вод автотранспортного підприємства за існуючою технологічною схемою очищення наведено в табл. 3.4.

Таким чином, існуюча технологічна схема очищення забруднених нафтопродуктами стічних вод не відповідає сучасним вимогам, що пред'являються до якості очищених вод автотранспортного підприємства при їхньому використанні в системах оборотного водопостачання.

Головним завданням керівництва автотранспортного підприємства на теперішній час є розробка та впровадження такої технологічної схеми очищення стічних вод, щоб забруднюючі речовини, які містяться в них, після очищення задовольняли вимогам та нормативам, що пред'являються до якості води для виробничих потреб.

Влаштування системи оборотного водопостачання на автотранспортному підприємстві дозволяє мінімізувати негативний вплив стічних вод, що утворюються в процесі мийки автомобілів, на якість поверхневих водоем та зекономити дефіцитні ресурси прісної води.

Виходячи з цілого ряду техніко-економічних показників, найбільш оптимальним рішенням для очищення забруднених нафтопродуктами стічних вод автотранспортних підприємств є встановлення нафтовловлювача [37].

Седиментація – найбільш простий спосіб виділення зі стічної води грубодисперсних домішок [38]-[42]. Цим механічним способом виділяють як ті речовини, що спливають (нафта та нафтопродукти), так і ті, що осаджуються на дно очисної споруди (пісок і грубодисперсні домішки).

Таблиця 3.4 – Технологічні параметри очищення стічних вод автотранспортного підприємства за існуючою технологічною схемою

Найменування показника	Одиниці виміру	Значення
Витрати стічних вод	м ³ /год	76
Концентрація у стічних водах перед очищенням у гідроциклонах:		
- завислих речовин	мг/л	1429
- нафтопродуктів		572
Ефективність очищення стічних вод у гідроциклоні:		
- за завислими речовинами	%	60
- за нафтопродуктами		10
Концентрація у стічних водах після очищення в гідроциклонах (перед очищенням у флотаторах):		
- завислих речовин	мг/л	572
- нафтопродуктів		514,8
Ефективність очищення стічних вод у флотаторах:		
- за завислими речовинами	%	90
- за нафтопродуктами		64
Концентрація у стічних водах після очищення у флотаторах:		
- завислих речовин	мг/л	57,2
- нафтопродуктів		154,44

Процес седиментації полідисперсної зависі, що містить нафтопродукти, можна моделювати в лабораторних циліндрах (рис. 3.1).

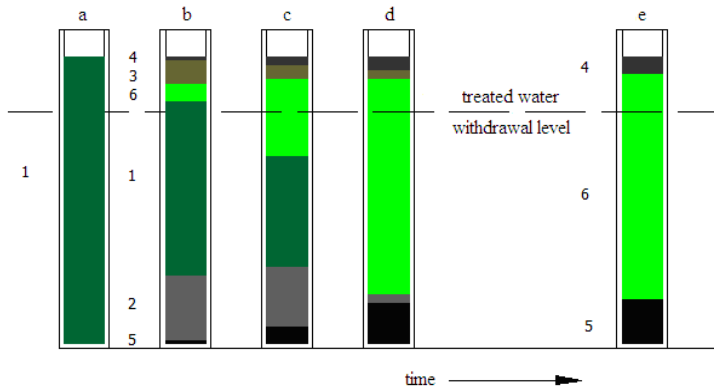


Рис. 3.1 – Кінетика процесу седиментації полідисперсної зависі, що містить нафтопродукти:

1 – вода, що надходить на очищення; 2, 3 – шари згущеної суспензії завислих речовин і нафтопродукту; 4, 5 – шари плівкового нафтопродукту і осаду; 6 – шар освітленої води;

a – початок процесу відстоювання; b, c – перші хвилини процесу відстоювання; d – стічна вода після відстоювання протягом 15 хвилин; e – завершення процесу відстоювання

Якщо в прозорий циліндр налити полідисперсну суміш, що містить у своєму складі завислі речовини і нафтопродукти, процес освітлення буде відбуватися наступним чином. Через деякий проміжок часу утворюються шість шарів, що якісно відрізняються один від одного. В часі ці шари будуть або збільшуватися, або зменшуватися. В кінці процесу седиментації залишаться три шари: плівковий нафтопродукт, освітлена вода і осад, тобто коли зникнуть вільне (1) та стиснене (2, 3) осадження.

Основна маса здатних спливати нафтових речовин виділяється протягом 15 хвилин, а при подальшому відстоюванні відсоток спливаючих речовин зростає дуже повільно.

Визначення швидкості спливання нафтових частинок (гідралічної крупності) в лабораторних циліндрах здійснюється за методикою [42]. Згідно цієї методики, перед проведенням експерименту в стічній воді визначається початкова концентрація нафтопродуктів – C_0 , мг/дм³. Далі стічну воду, що містить нафтопродукти, відстоюють в лабораторних циліндрах, висота яких, за можливістю, повинна відповідати висоті зони освітлення очисної споруди, призначеної для вилучення забруднюючих речовин. Через задані проміжки часу (5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 хвилин) з циліндрів відбирають проби води і визначають залишкову концентрацію нафтових частинок у кожній пробі.

Відібрані проби з кожного циліндра фільтрують через паперові фільтри. Попередньо перед фільтруванням визначається маса паперового фільтра (M , мг). Фільтр з осадом висушують у сушильній шафі при температурі 105 °С впродовж години (до постійної маси), охолоджують і зважують (M_i , мг).

Концентрація нафтових частинок, що спливають на поверхню лабораторного циліндра після відстоювання через задані проміжки часу:

$$C_i = \frac{(M_i - M)}{W}, \text{ мг/дм}^3, \quad (3.1)$$

M і M_i – маса паперового фільтра до та після фільтрування проби суспензії, відповідно, мг; W – об'єм проби суспензії, що відбирається з лабораторного циліндра, дм³.

Кількість нафтових частинок, що спливають на поверхню лабораторного циліндра після відстоювання через задані проміжки часу (ефект очищення):

$$P_i = \frac{C_0 - C_i}{C_0} \cdot 100\%, \%, \quad (3.2)$$

C_0 – початкова концентрація нафтопродуктів у стічній воді перед її відстоюванням, мг/дм³; C_i – концентрація нафтопродуктів в освітленій воді після її відстоювання через задані проміжки часу, мг/дм³.

Швидкість спливання нафтових частинок (гідралічна крупність) при заданому ефекті очищення залежно від тривалості процесу відстоювання стічної води в лабораторному циліндрі:

$$u_i = \frac{H}{t_i}, \text{ мм/с.} \quad (3.3)$$

H – висота лабораторного циліндра, що відповідає висоті зони освітлення в очисній споруді, мм; t_i – тривалість процесу відстоювання стічної води в лабораторному циліндрі (задані проміжки часу), секунди.

Виходячи з отриманої швидкості й визначаються основні конструктивні параметри нафтовловлювачів.

Розрахунок багатопарового нафтовловлювача для очищення забруднених стічних вод автотранспортного підприємства від завислих речовин і нафтопродуктів виконується відповідно до [45]:

1. Приймається кількість секцій нафтовловлювача N (рекомендується приймати не менше двох секцій).

2. Приймається висота тонкошарового блока (рекомендується приймати в діапазоні $H_{TB}=1,0-2,0$ м).

3. Приймається ширина тонкошарового блока (рекомендується приймати в діапазоні $B_{TB}=0,65-0,75$ м).

4. Площа поперечного перетину тонкошарового блока (поличного простору), що встановлюється в одну секцію нафтовловлювача:

$$F_{TB} = B_{TB} \cdot H_{TB}, \text{ м}^2. \quad (3.4)$$

5. Швидкість руху води в нафтовловлювачі:

$$v_a = \frac{q_{година}}{3.6 \cdot F_{TB} \cdot N}, \text{ мм/с}, \quad (3.5)$$

$q_{година}$ – витрати стічних вод, що утворюються на автотранспортному підприємстві в процесі мийки автомобілів за годину, м³/год.

6. Число Рейнольдса:

$$Re = \frac{10^{-6} \cdot v_a \cdot h_{ш}}{\nu}, \quad (3.6)$$

$h_{ш}$ – висота шару тонкошарового блока за перпендикуляром (рекомендується приймати в діапазоні $h_{ш}=50-150$ мм); ν – кінематичний коефіцієнт в'язкості води, величина якого залежить від значення температури стічних вод та приймається за допомогою табл. 3.5, м²/с.

Таблиця 3.5 – Величина кінематичного коефіцієнта в'язкості стічних вод в залежності від значення її температури

$t_{вода}, \text{ }^\circ\text{C}$	0	10	20	30	40	50	60	70	80
$\nu \cdot 10^{-6}, \text{ м}^2/\text{с}$	1,789	1,306	1,006	0,805	0,659	0,556	0,478	0,415	0,365

Температура стічних вод, що утворюються в процесі мийки автотранспорту, складає в середньому 20-50 °С. На існуючому автотранспортному підприємстві температура стічних вод складає $t_{вода}=30$ °С. Тому кінематичний коефіцієнт в'язкості стічної води становить $\nu=0,805 \cdot 10^{-6}$ м²/с.

Найбільший коефіцієнт використання об'єму нафтовловлювача та необхідний ефект очищення досягаються тоді, коли величина числа Рейнольдса буде близькою до 700-800 ($Re \leq 700-800$). В протилежному випадку змінюють розміри тонкошарового блока або кількість секцій.

7. Необхідна тривалість перебування води в тонкошаровому блоці:

$$T = \frac{h_u}{u_0 \cdot \cos \alpha}, \text{ секунди,} \quad (3.7)$$

α – кут нахилу полок (рекомендується приймати в діапазоні $\alpha=45-60^\circ$); u_0 – гідравлічна крупність (швидкість спливання) частинок нафти, мм/с.

8. Повна будівельна висота нафтовловлювача:

$$H_{\text{в\ddot{y}д}} = H_{\text{ТБ}} + h_1 + h_2 + h_{\text{борт}}, \text{ М,} \quad (3.8)$$

h_1 – висота шару води та нафтопродуктів, що спливають (рекомендується приймати $h_1=0,3$ м); h_2 – висота прямоку для осаду (рекомендується приймати в діапазоні $h_2=0,5-0,7$ м); $h_{\text{борт}}$ – висота борту нафтовловлювача (рекомендується приймати в діапазоні $h_{\text{борт}}=0,3-0,5$ м).

9. Ширина секції нафтовловлювача:

$$B_{\text{секція}} = 2 \cdot B_{\text{ТБ}} + b_1 + 2 \cdot b_2, \text{ М,} \quad (3.9)$$

b_1 – відстань між тонкошаровими блоками за шириною каналу (рекомендується приймати $b_1=200$ мм); b_2 – відстань між тонкошаровим блоком і торцевою стінкою нафтовловлювача (рекомендується приймати $b_2=150$ мм).

10. Повна будівельна ширина нафтовловлювача:

$$B_{\text{в\ddot{y}д}} = B_{\text{секція}} \cdot N, \text{ М.} \quad (3.10)$$

11. Довжина тонкошарового блока (поличного простору):

$$L_{\text{ТБ}} = \frac{K \cdot v_e \cdot T}{1000}, \text{ М,} \quad (3.11)$$

K – коефіцієнт запасу (рекомендується приймати $K=1,3$).

12. Кількість тонкошарових блоків в одному ряду:

$$N_{\text{б}} = \frac{L_{\text{ТБ}}}{L_{\text{б}}}, \text{ штуки,} \quad (3.12)$$

$L_{\text{б}}$ – довжина поличного блока (рекомендується приймати $L_{\text{б}}=0,7$ м).

13. Перерахунок довжини поличного простору:

$$L_{\text{ТБ}}^* = L_{\text{б}} \cdot N_{\text{б}}, \text{ М.} \quad (3.13)$$

14. Повна будівельна довжина секції нафтовловлювача:

$$L_{\text{в\ddot{y}д}} = L_{\text{ТБ}}^* + l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5 + l_6, \text{ М,} \quad (3.14)$$

l_1 – довжина зони грубого освітлення:

$$l_1 = \frac{q_{\text{година}}^I \cdot t}{60 \cdot H_{\text{б\ddot{u}д}} \cdot V_{\text{секція}} \cdot K_e}, \text{ м}, \quad (3.15)$$

$q_{\text{година}}^I$ – витрати стічних вод, що приходяться на одну секцію нафтовловлювача:

$$q_{\text{година}}^I = \frac{Q_{\text{година}}}{N}, \text{ м}^3/\text{Год}; \quad (3.16)$$

t – тривалість перебування робочого потоку в зоні грубого освітлення (рекомендується приймати в діапазоні $t=3-4$ хвилини); K_e – коефіцієнт використання об'єму зони грубого освітлення (рекомендується приймати $K_e=0,5$); l_2 – відстань, що призначається, виходячи з ширини водорозподільного пристрою та відстані для вільного проходження скребкового транспортера (рекомендується приймати в діапазоні $l_2=1,5-1,75$ м); l_3 – відстань, що призначається за умови формування робочого потоку, який виходить із шарів (рекомендується приймати $l_3=0,75$ м); l_4 – відстань між дірчатою перегородкою та напівзануреною перегородкою (рекомендується приймати в діапазоні $l_4=0,3-0,5$ м); l_5 – відстань між напівзануреною перегородкою та водозливом (рекомендується приймати $l_5=0,4$ м); l_6 – ширина водоприймального лотка (рекомендується приймати в діапазоні $l_6=0,3-0,5$ м).

15. Концентрація завислих речовин у стічних водах автотранспортного підприємства після очищення в багатошаровому нафтовловлювачі:

$$C_{\text{завис}}^{\text{вихід}} = C_{\text{завис}}^{\text{вхід}} - C_{\text{завис}}^{\text{вхід}} \cdot \frac{E_{\text{завис}}}{100}, \text{ мг/л}, \quad (3.17)$$

$C_{\text{завис}}^{\text{вхід}}$ – початкова концентрація завислих речовин у стічних водах автотранспортного підприємства, що надходять до багатошарового нафтовловлювача, мг/л; $E_{\text{завис}}$ – кількість завислих речовин, що осаджуються на дно очисної споруди, яка для багатошарових нафтовловлювачів дорівнює $E_{\text{завис}}=75\%$.

16. Концентрація нафтопродуктів у стічних водах автотранспортного підприємства після очищення в багатошаровому нафтовловлювачі:

$$C_n^{\text{вихід}} = C_n^{\text{вхід}} - C_n^{\text{вхід}} \cdot \frac{E_{\text{нафта}}}{100}, \text{ мг/л}, \quad (3.18)$$

$C_n^{\text{вхід}}$ – початкова концентрація нафтопродуктів у стічних водах автотранспортного підприємства, що надходять до багатошарового нафтовловлювача, мг/л; $E_{\text{нафта}}$ – кількість нафтових частинок, які спливають на поверхню очисної споруди, %. Зазвичай ефективність очищення стічних вод від нафтопродуктів у багатошарових нафтовловлювачах складає $E_{\text{нафта}}=98\%$.

Обґрунтування методу попередньої обробки забруднених нафтопродуктами стічних вод автотранспортного підприємства.

Нафтовловлювачі застосовуються для очищення виробничих стічних вод, що містять грубодисперговані нафту та нафтопродукти при концентрації більше 100 мг/л. Ці споруди є прямокутні, витягнуті за довжиною резервуари, в

яких відбувається поділ нафти та води за рахунок різниці їхньої густини. Нафта і нафтопродукти спливають на поверхню, а мінеральні домішки, що містяться в стічній воді, осідають на дно нафтовловлювача.

Для інтенсифікації процесу очищення і збільшення ефекту освітлення в нафтовловлювачах передбачається встановлення тонкошарових модулів, які забезпечують затримання найдрібніших частинок нафтопродуктів і зависі. Такі модулі не вимагають заміни або регенерації.

Висока здатність тонкошарових нафтовловлювачів затримувати відносно дрібні глобули пояснюється тим, що відстоювання проводиться при ламінарному режимі руху води та під час відсутності турбулентного перемішування. В таких нафтовловлювачах основна маса нафти і завислих речовин виділяється протягом 1-4 хвилин. Ступінь очищення стічних вод від нафтопродуктів, якої можна досягти за допомогою встановлення багатoshарового нафтовловлювача, складає до 98%.

Технологічна схема процесу очищення забруднених нафтопродуктами стічних вод у багатoshаровому нафтовловлювачі наведена на рис. 3.2.

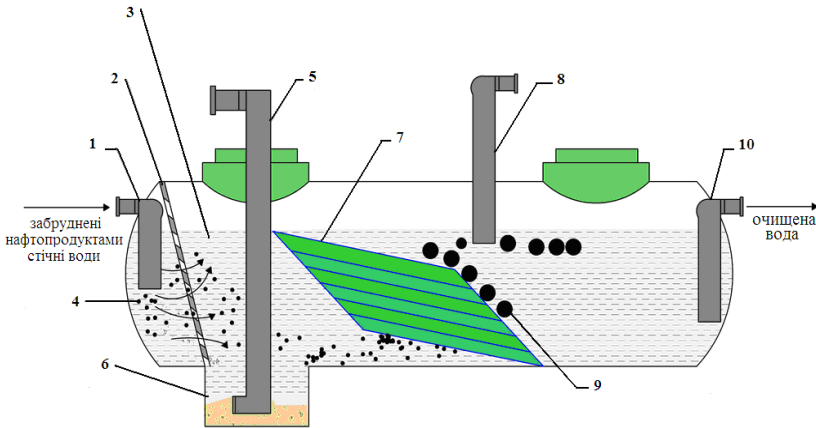


Рис. 3.2 – Схема технологічного процесу очищення стічних вод в багатoshаровому нафтовловлювачі:

- 1 – розподільчий лоток; 2 – розподільча решітка; 3 – камера попереднього відстоювання; 4 – нафтові глобули; 5 – гідроелеватор для видалення осаду; 6 – бункер для збору осаду; 7 – тонкошаровий блок; 8 – нафтозбірна труба; 9 – коалесценція глобул; 10 – водозбірний лоток

В тонкошарових нафтовловлювачах процеси осадження та відстоювання відбуваються в окремих зонах, розділених похилими перегородками. Зменшення висоти шару води збільшує ефективність даного методу очищення.

Тонкошарові нафтовловлювачі не схильні до небажаного впливу процесів конвекції і перенесення щільності, тому процес відстоювання йде більш

рівномірно за всією довжиною споруди. Коефіцієнт використання об'єму тонкошарового відстійника складає 0,80-0,85.

Застосування тонкошарових нафтовловлювачів за рахунок їхньої високої ефективності дає можливість відмовитися від додаткових механічних способів очищення забруднених нафтопродуктами стічних вод.

Розробка вдосконаленої технологічної схеми очищення забруднених нафтопродуктами стічних вод автотранспортного підприємства.

Розроблена вдосконалена технологічна схема очищення забруднених нафтопродуктами стічних вод автотранспортного підприємства заснована на встановленні в діючій технологічній схемі, замість напірних гідроциклонів, багатошарового нафтовловлювача, за допомогою якого на попередньому етапі обробки стоків значно знижується концентрація завислих речовин та нафтопродуктів.

Запропонована технологічна схема включає наступні методи очищення забруднених нафтопродуктами стічних вод автотранспортного підприємства:

- Механічне очищення – відстоювання в багатошаровому нафтовловлювачі, що засновано на гравітаційному розділенні матеріалів. Метод дозволяє вилучати зі стічних вод нафтопродукти, які знаходяться в грубодисперсному (крапельному) стані. Крім того, нафтовловлювач затримує основну масу супутніх забруднень мінерального походження, захищаючи від зносу та забивання наступних очисних споруд.

- Фізико-хімічне очищення – напірна флотація, що призначена для видалення зі стічних вод гідрофобних частинок (нафтопродуктів, жирів, завислих речовин, органічних домішок, поверхнево активних речовин, масел та інших нерозчинних забруднень і неорганічних домішок) бульбашками повітря. Для інтенсифікації процесу очищення у флотаційній установці додатково використовують коагулянти та флокулянти, які, сорбуючи на поверхні забруднення, знижують їхню змочуваність, а значить, підвищують ефективність очищення. Крім того, використання коагулянтів дозволяє видаляти забруднення, що знаходяться у воді у вигляді стійких емульсій та зависі, а також у колоїдному стані.

- Збір та зневоднення осаду, що осаджується на дно багатошарового нафтовловлювача та флотаційної установки.

- Збір та утилізація нафтопродуктів, що спливають на поверхню багатошарового нафтовловлювача та флотаційної установки.

Вдосконалену технологічну схему очищення забруднених нафтопродуктами стічних вод автотранспортного підприємства наведено на рис. 3.3.

Стічні води після миття автомобілів надходять через колодязь з баддею, який встановлено в мийній канаві, самопливом в усереднювач.

Після цього, насосом стічні води направляються до багатошарового нафтовловлювача, звідки, після попереднього очищення від нафтопродуктів і завислих речовин, стоки під залишковим напором надходять у флотаційну установку.

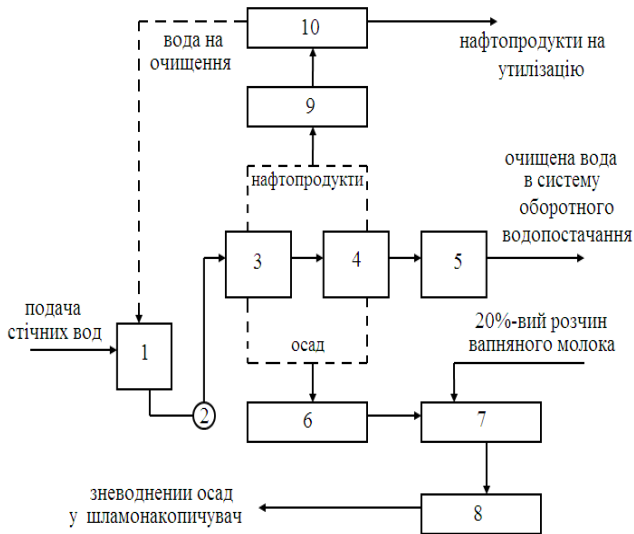


Рис. 3.3 – Вдосконалена технологічна схема очищення стічних вод автотранспортного підприємства:

1 – усереднювач; 2 – насос; 3 – багатшаровий нафтовловлювач; 4 – флотаційна установка; 5 – резервуар чистої (очищеної) води; 6 – установка «Пневмовикид»; 7 – відстійник-згущувач; 8 – фільтр-транспортер; 9 – бак-розділювач; 10 – установка для збору масла, що спливає

Вода після флотаційної установки збирається в резервуар чистої (очищеної) води і далі технологічними насосами подається повторно на мийку автомобілів.

Осад від багатшарового нафтовловлювача і флотаційної установки збирається в установці "Пневмовикид", потім стисненим повітрям передавлюється до відстійника-згущувача.

За необхідності для поліпшення ефекту зневоднення осаду у відстійник-згущувач додається 20%-вий розчин вапняного молока.

Осад з розчином перемішується стисненим повітрям. Осад з відстійника-згущувача подається на зневоднення на фільтр-транспортер. Зневоднений осад збирається в контейнери та вивозиться за межі автотранспортного підприємства.

Нафтопродукти від багатшарового нафтовловлювача та флотаційної установки збираються в баки-розділювачі. Після добового відстоювання нафтопродукти відводяться до установки для збору масла, а освітлена вода відводиться через трубопровід каналізації в усереднювач на повторне очищення.

Зібрані нафтопродукти здаються на утилізацію.

Моделювання процесу седиментації забруднених нафтопродуктами стічних вод автотранспортного підприємства.

Результати експерименту з визначення кількості нафтових частинок, що спливають на поверхню лабораторного циліндра, залежно від тривалості процесу відстоювання стічної води наведено в табл. 3.6.

Таблиця 3.6 – Результати дослідження кінетики спливання нафтових частинок на поверхню лабораторного циліндра після відстоюванні стічної води через задані проміжки часу

Проби води	Параметри:	
	концентрація нафтопродуктів, мг/дм ³	кількість нафтових частинок, що спливають, %
Стічна вода до відстоювання	572,0	-
Стічна вода після відстоювання тривалістю (t_i , хвилини):		
5	24,02	95,8
10	22,88	96,0
15	21,16	96,3
20	19,45	96,6
25	16,02	97,2
30	13,16	97,7
35	8,58	98,5

Розраховані значення швидкості спливання нафтових частинок (гідралічної крупності) при заданому ефекті очищення залежно від тривалості процесу відстоювання стічної води в лабораторному циліндрі висотою 1 м, що відповідає висоті тонкошарового блоку нафтовловлювача, наведені в табл. 3.7.

Таблиця 3.7 – Залежність ефекту очищення стічної води, що містить нафтопродукти, від швидкості спливання нафтових частинок (гідралічної крупності) після відстоювання через задані проміжки часу

Параметри	Стічна вода після відстоювання тривалістю (t_i , хвилини):						
	5	10	15	20	25	30	35
Кількість нафтових частинок, що спливають, %	95,8	96,0	96,3	96,6	97,2	97,7	98,5
Швидкість спливання нафтових частинок, мм/с	3,33	1,67	1,11	0,83	0,67	0,56	0,48

На рис. 3.4 наведено залежність кількості нафтових частинок, що спливають на поверхню лабораторного циліндра (ефект очищення), від швидкості їхнього спливання (гідралічної крупності) після відстоювання стічної води через задані проміжки часу.

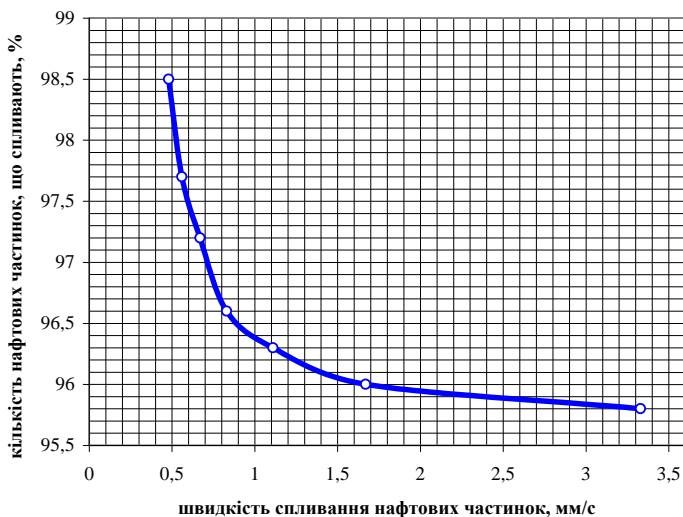


Рис. 3.4 – Залежність швидкості спливання нафтових частинок від кількості нафти, що виділяється, після відстоювання через задані проміжки часу

Користуючись цим графіком, можна запроектиувати нафтовловлювач, який буде розраховано на затримання заданої кількості нафтових речовин, що містяться в стічних водах.

Визначення основних конструктивних і технологічних параметрів очищення забруднених нафтопродуктами стічних вод автотранспортного підприємства згідно запропонованої технологічної схеми.

Для розрахунку конструктивних параметрів багат шарового нафтовловлювача було прийнято наступні дані:

- витрати стічних вод, що утворюються на автотранспортному підприємстві в процесі мийки автомобілів за годину, $q_{\text{година}}=76 \text{ м}^3/\text{год}$;

- кількість секцій нафтовловлювача $N=3$;

- висота тонкошарового блока $H_{\text{ТБ}}=1,0 \text{ м}$;

- ширина тонкошарового блока $B_{\text{ТБ}}=0,75 \text{ м}$;

- висота шару тонкошарового блока за перпендикуляром $h_{\text{ш}}=65 \text{ мм}$;

- кут нахилу полок $\alpha=60^\circ$;

- гідравлічна крупність (швидкість спливання) частинок нафти $u_0=0,52 \text{ мм/с}$ (ефективність очищення стічної води від нафтових частинок у багат шарових нафтовловлювачах складає 98%. Користуючись залежністю, наведеною на рис. 3.4, встановлено величину гідравлічної крупності).

Основні розрахункові конструктивні параметри багат шарового нафтовловлювача для очищення стічних вод автотранспортного підприємства згідно запропонованої технологічної схеми наведено в табл. 3.8.

Таблиця 3.8 – Технологічні параметри очищення стічних вод автотранспортного підприємства за запропонованою технологічною схемою

Найменування показника	Одиниці виміру	Значення
Площа поперечного перетину тонкошарового блока (поличного простору), що встановлюється	м ²	0,75
Швидкість руху води в нафтовловлювачі	мм/с	9,4
Число Рейнольдса	-	759
Необхідна тривалість перебування води в тонкошаровому блоці	секунди/ хвилини	250/4,2
Повна будівельна висота нафтовловлювача	м	2,5
Ширина секції нафтовловлювача	м	2
Повна будівельна ширина нафтовловлювача	м	6
Довжина тонкошарового блока (поличного простору)	м	3,5
Кількість тонкошарових блоків в одному ряду	штуки	5
Повна довжина секції нафтовловлювача	м	7,5

Основні розрахункові технологічні параметри очищення забруднених нафтопродуктами стічних вод автотранспортного підприємства згідно запропонованої технологічної схеми наведено в табл. 3.9.

Таблиця 3.9 – Технологічні параметри очищення стічних вод автотранспортного підприємства за запропонованою технологічною схемою

Найменування показника	Одиниці виміру	Значення
Концентрація у стічних водах перед очищенням в багатошаровому нафтовловлювачі:		
- завислих речовин	мг/л	1429
- нафтопродуктів		572
Ефективність очищення стічних вод у багатошаровому нафтовловлювачі:		
- за завислими речовинами	%	75
- за нафтопродуктами		98
Концентрація в стічних водах після очищення в багатошаровому нафтовловлювачі (перед очищенням у флотаторах):		
- завислих речовин	мг/л	357,25
- нафтопродуктів		11,44
Ефективність очищення стічних вод у флотаторах:		
- за завислими речовинами	%	90
- за нафтопродуктами		64
Концентрація у стічних водах після очищення у флотаторах:		
- завислих речовин	мг/л	35,73
- нафтопродуктів		4,12

Таким чином, впровадження запропонованої технологічної схеми очищення стічних вод автотранспортного підприємства забезпечує необхідний ступінь очищення як за вмістом завислих речовин, так і за нафтопродуктами для повторного використання стічних вод в системі оборотного водопостачання. В результаті дослідження вирішена актуальна практична задача, що полягає в удосконаленні технологічної схеми очищення забруднених нафтопродуктами стічних вод автотранспортного підприємства на основі їхньої попередньої обробки в спорудах механічного очищення. Запропоновано на попередньому етапі очищення стічних вод встановити багатошаровий нафтовловлювач. Впровадження запропонованої технологічної схеми очищення стічних вод на автотранспортному підприємстві знижує вміст нафтопродуктів та завислих речовин до нормативних показників якості води. Це дозволяє мінімізувати вплив забруднених стічних вод на прилеглі водні об'єкти та якісно здійснювати їхнє очищення з метою повторного використання в технологічному циклі підприємства, внаслідок чого скорочуються витрати водопровідної води на повторну мийку автомобілів на 80-90%. Відсутність будь-якого скиду недостатньо очищених стічних вод у каналізаційну мережу або у водойми є повною гарантією захисту водного об'єкта від забруднення, внаслідок чого підвищиться рівень екологічної безпеки автотранспортного підприємства [43].

3.2. Наукове обґрунтування та розробка технології переробки стічних вод гірничо-збагачувальних комбінатів

Інтенсивна розробка родовищ залізних руд докорінно змінила природний стан території, перетворивши його на притаманний гірничодобувними регіонам техногенний ландшафт, на поверхні якого виникають і розвиваються штучно створені масштабні об'єкти: кар'єри, відвали розкривних порід та некондиційних руд, ставки-накопичувачі зворотних вод, хвостосховища, зони зсувів [44]-[49].

Криворізький залізорудний басейн відноситься до гірничопромислових регіонів України з критичним станом довкілля. Проведення протягом багатьох десятиріч поверхневих і підземних гірничих робіт на зазначених площах і глибинах, накопичення на денній поверхні значних обсягів твердих і рідких відходів видобутку та збагачення залізних руд, а також розкривних порід призвело до незворотних негативних змін екологічного стану довкілля, що супроводжують розробку надр та переробку корисних копалин в гірничодобувних регіонах України [50]-[55].

Це, в свою чергу, обумовило надходження в атмосферне повітря [56]-[59], гірські породи [60]-[67], ґрунти [68]-[69], донні відкладення, поверхневі та підземні води [70]-[77], рослинність небезпечних речовин, хімічних елементів та їхніх сполук техногенного походження і розвиток процесів забруднення довкілля на значних територіях [78]-[83]. Вміст значної кількості забруднюючих інгредієнтів в різних компонентах навколишнього середовища та екосистемах перевищує екологічно нормовані показники.

Гірничодобувні підприємства мають істотний негативний вплив на водні об'єкти. Його наслідком є постійне скорочення запасів і погіршення якості водних ресурсів, внаслідок відкачування та скиду неочищених шахтних і кар'єрних вод у поверхневі водойми.

Тільки за 2020 рік підприємствами гірничодобувної промисловості було скинуто в поверхневі водойми й водотоки України 191 млн м³ шахтних і кар'єрних вод, більша частина з яких відноситься до категорії забруднених [84]. Найбільш негативно на поверхневі водні об'єкти впливає скид у величезній кількості мінералізованих шахтних вод.

Загострення дефіциту питних і технічних вод на тлі зростаючого техногенного забруднення довкілля в ряді шахтарських міст і селищ поставило під сумнів можливість подальшої реалізації перспективних планів розвитку гірничодобувної галузі без забезпечення вимог екологічної безпеки в частині, що стосується охорони та раціонального використання водних ресурсів.

Переробка стічних вод гірничо-збагачувальних комбінатів є проблемою, актуальною у всьому світі, рішення якої має важливе наукове та практичне значення. Така вода не може бути скинута в поверхневі водойми без попереднього очищення та використана для технічного водоспоживання без відповідної обробки.

Зазначена проблема вкрай актуальна для умов Криворізького залізорудного басейну, потреби якого в якісній питній воді не забезпечуються місцевими джерелами водопостачання, а ступінь деградації водних ресурсів через надмірне забруднення високомінералізованими (до 40 г/дм³) шахтними водами з високим вмістом хлоридів (до 20 г/дм³) значно перевершує аналогічні показники в інших регіонах [85].

Сьогодні мінералізовані шахтні води знаходять обмежене використання у виробничому водопостачанні шахт і суміжних з ними виробництв і, в основному, скидаються в природні водойми. При цьому, відбувається засолення ґрунту і зміна гідрохімічного складу водойм-приймачів, що вимагає додаткових витрат на ліквідацію таких техногенних наслідків. Крім того, скид мінералізованих шахтних вод згубно впливає на флору та фауну водойм [86].

До теперішнього часу серед основних технічних методів водоочищення шахтних і кар'єрних вод залишається їхнє відстоювання в ставках-накопичувачах з подальшим скидом у водойми. Додаткові методи з фільтрації та реагентної обробки води дозволяють знизити в ній вміст колоїдних речовин та заліза.

Діючі на підприємствах гірничодобувної промисловості очисні споруди не розраховані на видалення з шахтних вод розчинених мінеральних солей, а відомі в світовій практиці способи та технології зниження мінералізації природних і стічних вод не знайшли широкого застосування в континентальних умовах. У зв'язку з вищевикладеним, проблема очищення мінералізованих шахтних вод гірничодобувних підприємств є досить актуальною. Її вирішення має важливе наукове та практичне значення.

Метою даного дослідження є наукове обґрунтування та розробка технології комплексної переробки стічних вод гірничо-збагачувальних

підприємств Криворізького залізорудного басейну, на прикладі шахти «Тернівська» Публічного акціонерного товариства «Криворізький залізорудний комбінат», з отриманням очищеної води, гідрохімічні показники якої відповідають нормативам якості поверхневих водойм.

Криворізький залізорудний регіон є найбільшим в Україні басейном з покладами багатих залізних руд. Він вважається головним гірничодобувним центром країни, що розташований на території Дніпропетровської області.

В басейні діє вісім шахт з підземного видобутку залізної руди, які ведуть гірничі роботи в особливо небезпечних умовах на глибинах 800-1500 м.

Родовище багатих залізних руд та магнетитових кварцитів поля шахти «Тернівська» ПАТ «Криворізький залізорудний комбінат» розробляється з 1894 року, зокрема шахтою «Тернівська» – з 1964 року. Проектна потужність шахти складає 2 млн тонн. Річна продуктивність по виробництву товарної руди – 1,540 млн тонн.

Шахтні та кар'єрні води Криворізького залізорудного басейну відкачуються з метою забезпечення безпечних умов відпрацювання покладів залізних руд.

За хімічним складом шахтні води відносяться до хлоридного натрій-калієвого типу з мінералізацією 15,97-24,36 г/дм³ (класифікуються як розсоли) та загальною жорсткістю 30,97-46,56 ммоль/дм³ (класифікуються як дуже жорсткі).

Високомінералізовані шахтні води, утворені при видобутку залізної руди, по водовідливних канавках надходять в підземні водозбірники, освітлюються і насосними установками відкачуються на поверхню та по системі транспортування шахтних вод відводяться в хвостосховище ПрАТ «Північний гірничозбагачувальний комбінат», де вони використовуються в циклах зворотного водопостачання при збагаченні руди.

Водоприплив шахти «Тернівська» ПАТ «Криворізький залізорудний комбінат» в середньому складає 1392,14 тис. м³/рік. Усереднений хімічний склад шахтних вод, що відкачуються на поверхню, наведено в табл. 3.10.

Через неможливість використання всього об'єму відкачуваних на поверхню шахтних і кар'єрних вод у технологічних циклах по збагаченню руди, в хвостосховищі періодично утворюється надлишок зворотних вод, який заважає подальшій розбудові та нарощуванні дамб, що огорожують. Крім того, надлишок зворотних вод, який накопичується в чаші хвостосховища, створює реальну загрозу розмиву та прориву існуючої греблі хвостосховища з витоком рідких відходів рудозбагачення за межі об'єкту. З метою уникнення аварійних ситуацій на об'єкті підвищеної техногенної небезпеки підприємство вимушено періодично застосовувати випереджувальні заходи зі скиду надлишків зворотних вод в річку Саксагань, яка є лівою притокою річки Інгулець.

За таких умов поверхневі води річок Інгулець та Саксагань, в межах Криворізького залізорудного басейну, під впливом антропогенної діяльності, практично втратили свої природні властивості. По-перше, змінився їхній

гідрологічний режим, внаслідок 100%-вої зарегульованості. По-друге, суттєвих змін зазнав їхній сольовий та мікрокомпонентний склад.

Таблиця 3.10 – Усереднений хімічний склад шахтних вод, що відкачуються на поверхню шахти «Тернівська» ПАТ «Криворізький залізорудний комбінат»

Найменування показника хімічного складу шахтної води, одиниці виміру	Фактичне значення
Жорсткість загальна, ммоль/дм ³	39,73
Жорсткість карбонатна, ммоль/дм ³	35,95
Жорсткість некарбонатна, ммоль/дм ³	3,78
Лужність загальна, ммоль/дм ³	3,78
Вуглекислота загальна, мг/дм ³	233,01
Кальцій, мг/дм ³	492,44
Магній, мг/дм ³	699,41
Натрій+калій, мг/дм ³	6092,98
БСК ₅ , мгО ₂ /дм ³	3,0
Завислі речовини, мг/дм ³	8,27
Хлориди, мг/дм ³	10653,79
Сульфати, мг/дм ³	1930,79
Мінералізація, мг/дм ³	19953
Азот амонійний, мг/дм ³	1,01
Нітрати, мг/дм ³	21,66
Нітрити, мг/дм ³	2,93
Фосфати, мг/дм ³	0,05
Феноли, мг/дм ³	0,001
Залізо загальне, мг/дм ³	0,51
Нафтопродукти, мг/дм ³	0,22

В період скиду надлишків високомінералізованих шахтних вод поверхневі води суттєво перепоповнюються хлоридами, сульфатами, нітратами, нітритами та іншими забруднюючими речовинами.

Слід зазначити, що нестабільність хімічного складу води на різних ділянках призводить до зниження видового різноманіття навіть в літній, найбільш сприятливий період. Планктонні та донні організми піддаються сильному негативному впливу при скиді надлишків шахтних вод, що позначається на зниженні їхньої чисельності, біомаси та видового розмаїття.

Як правило, для отримання очищеної стічної води, що задовольняла б вимогам екологічної безпеки [87], недостатньо застосування якого-небудь одного методу, тому необхідне поєднання кількох фізико-хімічних методів. При розробці технологічної схеми очищення мінералізованих стічних вод найбільші складнощі викликають процеси демінералізації.

В даний час одним з найбільш перспективних у вітчизняній практиці очищення стічних вод є метод зворотного осмосу в зв'язку з невисоким

енергоспоживанням, універсальністю (можливістю очищення води від домішок різного складу та концентрації) та простотою зворотно-осмотичних апаратів. Ефективність цього методу зростає із застосуванням нових високоселективних і високопродуктивних зворотно-осмотичних мембран і рулонних ресурсозберігаючих елементів на їхній основі, стійких до широкого діапазону *pH* води. За глибиною очищення, що досягається, зворотний осмос займає одне з перших місць. До переваг методу слід віднести:

- вода не проходить фазові переходи (випаровування або замерзання), що забезпечує низькі витрати на енергоспоживання при використанні даного методу, в порівнянні з іншими відомими технологіями демінералізації;

- ступінь очищення води від мінеральних солей досягає 96-99,8%;

- відносно невеликі габарити установок не вимагають великих виробничих площ;

- простота апаратурного оформлення та автоматизація процесу;

- зворотний осмос забезпечує повну бактерицидну обробку води завдяки комбінованим процесам демінералізації та дезінфекції, внаслідок невеликого діаметра мембранних пор, які не пропускають не тільки іони солей, але й бактерії, спори та віруси.

Технологічний процес очищення високомінералізованих шахтних вод гірничодобувних підприємств Криворізького залізрудного басейну, на прикладі шахти «Тернівська» ПАТ «Криворізький залізрудний комбінат», включає наступні основні стадії:

- прийом і усереднення вихідної шахтної води;

- реагентне вапняно-содове пом'якшення й освітлення шахтної води з відділенням суспензії, що утворюється, методом відстоювання у відстійнику вдосконаленої конструкції;

- коригування *pH* освітленої шахтної води з додатковою фільтрацією на швидких зернистих фільтрах з висхідним потоком рідини;

- знесолення шахтної води на зворотно-осмотичній установці;

- обробка концентрату зворотного осмосу методом випарювання та кристалізації;

- досушування суміші мінеральних солей (переважно хлориду натрію) до вологості 8-10%.

Запропонована технологія комплексної переробки високомінералізованих шахтних вод гірничодобувних підприємств Криворізького залізрудного басейну, на прикладі шахти «Тернівська» ПАТ «Криворізький залізрудний комбінат», представлена на рис. 3.5.

Враховуючи, що відкачування високомінералізованих шахтних вод з гірничодобувних підприємств Криворізького залізрудного басейну протягом доби здійснюється не рівномірно, а також з різних горизонтів та з різними гідрохімічними показниками, на всіх шахтах необхідно створювати ємності для акумуляції певного об'єму води з метою усереднення та стабілізації їхнього хімічного складу. Тільки після цього шахтна вода може надходити на наступну технологічну стадію водопідготовки та очищення.

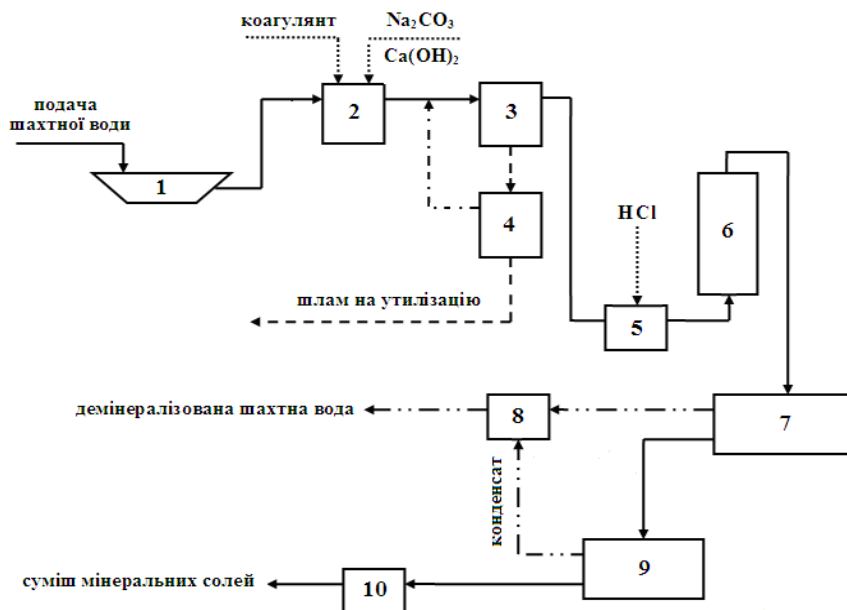


Рис. 3.5 – Технологія комплексної переробки високомінералізованих шахтних вод гірничодобувних підприємств Криворізького залізорудного басейну, на прикладі шахти «Тернівська» ПАТ «Криворізький залізорудний комбінат»:
 1 – усереднювач шахтних вод; 2 – змішувач; 3 – відстійник вдосконаленої конструкції; 4 – фільтрпрес шламу коагуляції; 5 – бак-змішувач для стабілізації води; 6 – швидкі зернисті фільтри з висхідним потоком рідини; 7 – установка зворотного осмосу; 8 – збірна ємність пермеату (демінералізованої води);
 9 – вакуум-випарна установка з рекомпресією водяного пара та кристалізатором; 10 – сушарка

Однією з умов ефективної та тривалої роботи установок зворотного осмосу є необхідність введення в загальну технологічну схему стадії попередньої підготовки, яка полягає в послідовному проведенні реагентного пом'якшення та освітлення шахтної води, що надходить на очищення.

Реагентна обробка призначена для видалення солей жорсткості (кальцію та магнію) перед процесом мембранного концентрування. В цьому випадку, пом'якшення засновано на обробці води реагентами, що утворюють з кальцієм (Ca^{2+}) і магнієм (Mg^{2+}) малорозчинні з'єднання ($CaCO_3$ та $Mg(OH)_2$) з їхнім подальшим відділенням в освітлювачах, відстійниках та фільтрах. Для зниження карбонатної та магнієвої жорсткості шахтні води обробляють 5%-вим розчином $Ca(OH)_2$ (вапняного молока), а також 10%-вим розчином соди (Na_2CO_3) для зниження некарбонатної жорсткості. При цьому остаточна

жорсткість води при вапняно-содовому пом'якшенні може бути доведена до 0,5-1 мг-екв/дм³, а лужність до 0,8-1,2 мг-екв/дм³.

Для інтенсифікації процесу утворення пластівців шахтні води обробляються також розчином коагулянту ($Al_2(SO_4)_3$, $FeSO_4$ або $FeCl_3$). При одночасному освітленні та реагентному пом'якшенні води в якості коагулянтів застосовуються тільки солі заліза (хлорне залізо $FeCl_3$ або залізний купорос $FeSO_4$), оскільки при високому значенні pH води, необхідному для видалення магнієвої жорсткості, солі алюмінію не утворюють сорбційно-активного гідроксиду. Гідроксид заліза (II), що виділяється, при високих значеннях pH середовища легко окислюється киснем, розчиненим у воді, до водного оксиду заліза (III), який осаджується разом із карбонатом кальцію і гідроксидом магнію, що утворюються при вапняно-содовому пом'якшенні шахтної води.

Робочі розчини реагентів готуються на відповідних вузлах реагентного відділення очисних споруд і включають до себе приймальні бункери, реактори з механічним або пневматичним перемішуванням, ємності для готового продукту, дозуючі насоси.

Дози вапна (D_B) і соди (D_C):

$$D_B = 28 \cdot \left(\frac{[CO_2]}{22} + \mathcal{J}_K + \frac{[Mg^{2+}]}{12} + \frac{D_K}{e_k} + 0,5 \right), \text{ мг/дм}^3; \quad (3.19)$$

$$D_C = 53 \cdot \left(\mathcal{J}_{HK} + \frac{D_K}{e_k} + 1 \right), \text{ мг/дм}^3, \quad (3.20)$$

$[CO_2]$ – концентрація у воді вільної вуглекислоти, мг/дм³; $[Mg^{2+}]$ – вміст у воді магнію, мг/дм³; \mathcal{J}_K та \mathcal{J}_{HK} – карбонатна та некарбонатна жорсткість, відповідно, мг-екв/дм³; D_K – доза коагулянту, що застосовується для поліпшення седиментаційних властивостей осаду, мг/дм³ (значення D_K належить приймати в діапазоні 25-35 мг/дм³); e_k – еквівалентна маса активної речовини коагулянту, мг/мг-екв (для $FeSO_4$ значення $e_k=76$, для $FeCl_3$ – $e_k=54$); 0,5 і 1 – надлишок вапна та соди, відповідно, для забезпечення більшої повноти реакції, мг-екв/дм³.

Кількість зависі, що утворюється при вапняно-содовому пом'якшенні шахтної води (в перерахунку на суху речовину) та надходить на подальше освітлення у відстійник вдосконаленої конструкції:

$$C = C_3 + 50 \cdot \left(\mathcal{J}_O + \mathcal{J}_K + \frac{[CO_2]}{22} + 0,5 \right) + 29 \cdot \frac{[Mg^{2+}]}{12} + D_B \cdot \left(\frac{100 - m}{100} \right), \text{ мг/дм}^3, \quad (3.21)$$

\mathcal{J}_O – загальна жорсткість води, мг-екв/дм³; C_3 – вміст завислих речовин у вихідній шахтній воді, мг/дм³; m – вміст CaO у товарному вапні, що складає 70%.

Видалення основної кількості завислих і грубодисперсних колоїдних частинок після вапняно-содового пом'якшення шахтної води відбувається у відстійнику вдосконаленої конструкції, детальний опис якого наведено в наступних роботах [36]-[88].

Моделювання процесу освітлення шахтних вод після попередньої обробки реагентами (встановлення оптимальних конструктивних і технологічних параметрів запропонованого відстійника вдосконаленої конструкції) для умов водовідливу шахти «Тернівська» ПАТ «Криворізький залізорудний комбінат» виконувалося відповідно до методик, наведених в роботах [42] та представлених у вигляді алгоритму на рис. 3.6.

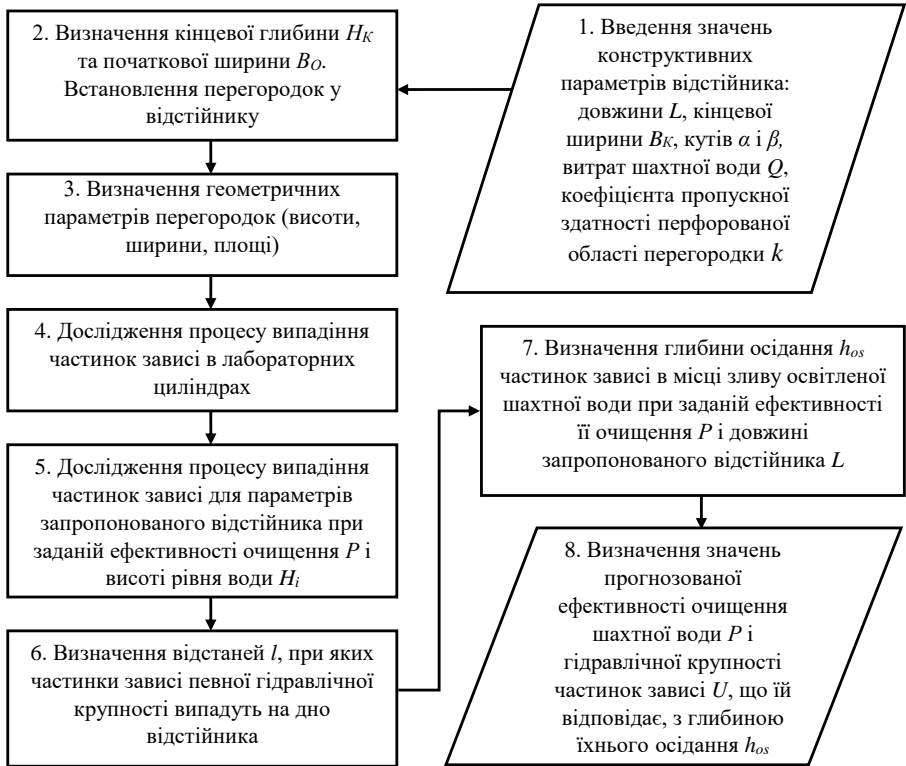


Рис. 3.6 – Алгоритм визначення раціональних параметрів процесу освітлення шахтної води попередньо обробленої реагентами у відстійнику вдосконаленої конструкції

Кінцева концентрація завсі в шахтній воді після її освітлення в запропонованому відстійнику вдосконаленої конструкції:

$$C_K = C - C \cdot \frac{P}{100}, \text{ мг/дм}^3, \quad (3.22)$$

C – кількість завсі, що утворюється при вапняно-содовому пом'якшенні шахтної води та визначається за формулою (3.21), мг/дм³; P – прогнозована

ефективність освітлення шахтної води у відстійнику вдосконаленої конструкції, %.

В якості відходів в процесі коагуляції-пом'якшення утворюється кальцієво-магнієвий шлам ($CaCO_3$ і $Mg(OH)_2$). Утворений осад сповзає в нижню частину відстійника. Періодично надлишок осаду подається на вузол зневоднення, що включає збірник осаду, насос і фільтрпрес. Зазначений шлам після ущільнення та фільтрування на фільтрпресі являє собою кальцієво-магнієву сировину, що може застосовуватися в цементній промисловості.

При реагентному пом'якшенні шахтної води неминуче утворюються системи, перенасичені карбонатом кальцію та гідроксидом магнію. Вони схильні до утворення осаду на поверхні апаратів і зернистих завантажень. Для усунення цих явищ пом'якшену шахтну воду стабілізують підкисленням. Для цього пом'якшена нестабільна вода зі значенням pH близька 9-11 надходить до бака-змішувача, куди подається розчин соляної кислоти для розчинення пластівців карбонату кальцію та гідроксиду магнію, що залишилися у воді, та її стабілізації перед подальшим очищенням. Ці заходи передбачені з метою збереження транспортних і селективних характеристик мембран, а також для збільшення терміну їхньої служби. Після стабілізації pH шахтної води буде складати 6,8-7,2.

Після стабілізаційної обробки пом'якшена й освітлена шахтна вода подається на швидкі зернисті фільтри з висхідним потоком рідини, де відбувається видалення завислих і колоїдних частинок, що не встигли осісти у відстійнику вдосконаленої конструкції. Слід зазначити, що концентрація завислих речовин у шахтній воді, яка надходить до зернистих фільтрів на доочищення, не повинна перевищувати 150 мг/дм^3 [88]. При цьому концентрація зависі після очищення в зернистих фільтрах буде складати до 5 мг/дм^3 .

Фільтрація води здійснюється знизу вгору, що значно поліпшує умови роботи фільтра, внаслідок реалізації принципу спадної крупності зерен завантаження вздовж потоку. Фільтруюче завантаження складається з кварцового піску крупністю 1,2-2 мм і висотою шару 1,5-2 м, а також підтримуючого шару гравію товщиною до 0,95 м.

Описана вище попередня підготовка високомінералізованої шахтної води знижує навантаження на установку зворотного осмосу та забезпечує роботу мембранного модуля в оптимальному режимі.

Далі попередньо оброблена шахтна вода насосом високого тиску подається до блоку зворотно-осмотичного знесолення. Для опріснення шахтної води з початковим солемістом до 20 г/дм^3 в установці зворотного осмосу допускається встановлення мембранних модулів селективність яких складає 95% і вище. В цьому випадку мінералізація шахтної води (пермеату) після виходу зі зворотно-осмотичної установки не буде перевищувати нормативного значення для поверхневих водних об'єктів (1000 мг/дм^3).

Згідно з запропонованою технологією (рис. 3.5) для умов водовідливу шахти «Тернівська» ПАТ «Криворізький залізорудний комбінат» ($158,92 \text{ м}^3/\text{год}$) пропонується встановити установку зворотного осмосу, що

складається з 96 високонапірних мембран NanoRO KM 8040. Мембрана призначена для знесолення та безреагентного знезараження рідини з вмістом солей до 45 г/дм³. Продуктивність мембранного елемента складає 1,66 м³/год, середня селективність – 99,5%. Рекомендований робочий тиск становить 4.5-6,5 МПа, робоча температура – 4-45 °С, робочий інтервал *pH* – 2-11. Конструкція мембрани являє собою рулонний елемент з композитного поліаміду. Мембрана армована скловолокном, що підвищує її міцність і при належному догляді забезпечить термін служби до 2-4 років. Мембрана відповідає найсучаснішим вимогам промислової водопідготовки та здатна очищувати солону воду не втрачаючи продуктивності та не зношуючись протягом тривалого терміну експлуатації.

Конструкція мембрани дозволяє пропускати тільки очищену та знесолену воду (пермеат). Всі забруднюючі речовини (солі та інші) через мембрани не проходять і змиваються з їхньої поверхні водою (концентрат). Об'єм концентрату складає близька 25% від кількості води, що надходить на очищення в зворотно-осмотичну установку. Решта очищеної води (близька 75%) направляється на споживання. Вміст солей в концентраті зворотного осмосу визначається конверсією, тобто співвідношенням потоків пермеату та вихідної стічної води. При звичайній величині конверсії в установці (60-75%) вміст солей в концентраті збільшується в 2,5-4 рази.

Таким чином, в установці зворотного осмосу під тиском 5,5 МПа приблизно три чверті витрат попередньо обробленої шахтної води фільтруються через мембрани з утворенням пермеату з солевмістом приблизно 100 мг/дм³. Вода, що залишається, витікає з модулів у вигляді концентрату з загальним солевмістом приблизно 80 г/дм³.

Розчин такої концентрації надалі можна переробляти тільки випарюванням, оскільки при подальшому концентруванні його зворотним осмосом існує небезпека інтенсивного відкладання на мембранах осаду солей жорсткості.

Метод випарювання на сьогоднішній день є одним з перспективних способів переробки високомінералізованих стічних вод, в тому числі й концентрату зворотного осмосу. Даний метод дозволяє отримати зі стоку утилізовані продукти – конденсат вторинного водяного пару (дистиллят), який повертається в технологічний процес, і солі з різним ступенем вологості (від 50 до 10%), які направляються на утилізацію, що визначає склад вузла випарювання та необхідність введення в схему вузла досушування.

Упарювання та кристалізацію концентрату зворотного осмосу пропонується проводити на вакуум-випарній установці з рекомпресією водяного пара та кристалізатором РВП-К-20.

Вихідні стоки надходять на насос випарної колони через пластинчастий теплообмінник. Середовищем, що гріє, в теплообміннику виступає власний конденсат випарної установки, що забезпечує повторне використання тепла на підігрів вихідних стоків.

У випарній колоні насос забезпечує циркуляцію розчину, що випаровується, по контуру: «циркуляційний насос – трубний теплообмінник

(випарник) – сепаратор – циркуляційний насос». Нагрів стоків до температури кипіння забезпечується у випарнику, в міжтрубний простір якого подається вторинна пара після рекуперації та первинна свіжа пара для компенсації теплових витрат. Первинна пара виробляється електричним котлом.

Нагріті до температури кипіння стоки з випарника надходять до сепаратора, де й відбувається власне кипіння – розділ на парову фазу та розсіл, перенасичений за вмістом солей. При випарюванні за рахунок видалення частини води починають формуватися кристали солей. Вторинна пара збирається у верхній частині сепаратора, а упарені стоки циркуляційним насосом знов направляються в трубний простір випарника. В нижній конічній частині сепаратора випадають крупні кристали солей, рідка суспензія частково освітлюється. Частина дрібних кристалів разом з розсоллом циркулює по контуру апарата.

З верхньої частини сепаратора вторинна пара надходить на послідовні рекуператори, призначені для підвищення температури пара методом його стискування з метою подальшого повторного використання в теплообміннику як свіжого пара, що нагріває. Для насичення пара передбачено впорскування власного конденсату в рекуператори (при цьому пара переходить з перегрітого стану до насиченого).

Вторинна пара конденсується в міжтрубному просторі випарника та стікає в його нижню частину, звідки надходить до ємності збору конденсату. Частина конденсату надходить на рекуператори. Основний об'єм конденсату подається на теплообмінник підігріву вихідного розчину в якості теплоносія. При цьому температура конденсату знижується. Остаточне охолодження конденсату відбувається на другому теплообміннику охолодженою водою. Подачу охолодженої води забезпечує чиллер або мережа підприємства. Таким чином, отримують конденсат (дистилят) – знесолену воду після установки випарювання.

Кристалізація суміші солей починається в нижній частині сепаратора, звідки згущена суспензія надходить самопливом у збірник випареного розчину, забезпеченого мішалкою та «сорочкою». В «сорочку» подається охолоджена вода. При охолодженні насиченого розчину з нього додатково випадають кристали солей.

Зі збірника охолоджена суспензія насосом направляється на зневоднення в центрифугу, де кристали суміші солей відділяються від маточного розчину й далі суміш солей з вологістю 20-30% для додаткового зниження вологості направляється на досушування в роторно-дисккову сушарку. Маточний розчин через проміжну ємність направляється на повторне випарювання – на циркуляційний насос випарної колони.

Отриманий конденсат вторинної водяної пари, солевміст якого складає 30-100 мг/дм³, направляється в збірну ємність фільтрату (пермеату) установки зворотного осмосу. Отриманий твердий продукт являє собою суміш мінеральних солей вологістю 8-10%, в основному хлориду натрію, в подальшому може використовуватися в якості реагенту для пом'якшення води або в комунальному господарстві в якості технічної солі.

Таким чином, впровадження запропонованої технології дозволяє отримати знесолену воду, гідрохімічні показники якої відповідають нормативам якості поверхневих водойм, та товарні мінеральні продукти, що можуть використовуватися в якості цінної сировини на потреби народного господарства. Крім того, встановлення плавучої сонячної установки на штучній водоймі Криворізького залізрудного басейну (хвостосховище ПрАТ «Північний гірничозбагачувальний комбінат») дозволить відмовитися від використання традиційних джерел енергії для проведення процесу переробки високомінералізованих шахтних вод за запропованою технологією. Це позбавить необхідності закупівлі енергоресурсів, що постійно збільшуються в ціні, та внесе вклад в декарбонізацію енергетичного сектора.

Розрахунок доз реагентів для вапняно-содового пом'якшення шахтної води
 Доза вапна розраховується за формулою (3.19) та складає:

$$D_B = 28 \cdot \left(\frac{[233,01]}{22} + 35,95 + \frac{[699,41]}{12} + \frac{30}{54} + 0,5 \right) = 2964,674 \text{ мг/дм}^3.$$

Доза соди розраховується за формулою (3.20) та складає:

$$D_C = 53 \cdot \left(3,78 + \frac{30}{54} + 1 \right) = 282,784 \text{ мг/дм}^3.$$

Кількість зависі, що утворюється при вапняно-содовому пом'якшенні шахтної води (в перерахунку на суху речовину), розраховується за формулою (3.21) та складає:

$$C = 8,27 + 50 \cdot \left(39,73 + 35,95 + \frac{[233,01]}{22} + 0,5 \right) + 29 \cdot \frac{[699,41]}{12} + 2964,674 \cdot \left(\frac{100 - 70}{100} \right) = 6926,481 \text{ мг/дм}^3.$$

Таким чином, кількість завислих речовин у шахтній воді, що після пом'якшення буде надходити до запропонованого відстійника вдосконаленої конструкції на подальше освітлення, становитиме 6926,481 мг/дм³.

Моделювання процесу освітлення шахтних вод після попередньої обробки реагентами для умов водовідливу шахти «Тернівська» ПАТ «Криворізький залізрудний комбінат» у відстійнику вдосконаленої конструкції

Для кращого сповзання осаду, який буде осідати на дно відстійної споруди, кут нахилу днища запропонованого відстійника до горизонтальної площини приймається $\alpha \approx 30^\circ$. При цьому найкращі умови осідання завислих речовин будуть забезпечуватися при значенні кутів звуження відстійника $\beta \approx 84^\circ$ [88].

Кінцеву ширину відстійної споруди приймаємо $V_K = 6$ м, довжину $L = 16$ м. Виходячи з прийнятих значень кутів, початкова ширина відстійника буде складати $V_O = 10$ м, а його глибина в місці відведення освітлених шахтних вод – $H_K = 9,2$ м.

Всередині відстійної споруди встановлюємо чотири вертикальні перфоровані поперечні перегородки, перетин яких відповідає змінному перетину корпусу відстійника. Така кількість перегородок забезпечить

найбільшу ефективність очищення шахтної води від частинок зависі. Першу та четверту перегородки встановлюємо на відстані 3,5 м від торцевих стінок відстійної споруди. Інші перегородки розташовуємо на рівній відстані одна від одної [88].

Рекомендується встановлювати перегородки з отворами квадратної форми з прямими, зміщеними або діагонально-зміщеними рядами; прямокутної форми з прямими або зміщеними рядами; шестигранної форми зі зміщеними рядами. В цьому випадку коефіцієнт пропускної здатності перфорованої області перегородки (k) буде мати максимальне значення, що складе 0,826 [36]. Це також дозволить підвищити ефективність освітлення шахтних вод.

Розраховані конструктивні параметри запропонованого відстійника вдосконаленої конструкції в місцях розташування перфорованих поперечних перегородок та торцевої стінки наведено в табл. 3.11.

Таблиця 3.11 – Конструктивні параметри запропонованого відстійника вдосконаленої конструкції

Конструктивні параметри	Значення конструктивних параметрів відстійника в місці розташування:				
	перегородки:				торцевої стінки
	I	II	III	IV	
Загальна висота H_i^o , м	2,0	3,8	5,5	7,2	9,2
Робоча висота H_i^p , м	1,7	3,5	5,2	6,9	8,9
Ширина b_i , м	8,63	8,0	7,37	6,74	6,0
Робоча площа S_i^p , м ²	14,67	28,0	38,32	46,51	53,4
Відстань L_i , м, від місця подачі шахтної води до i -тої перегородки відстійника, м	3,5	6,5	9,5	12,5	16,0

Результати експерименту з визначення кількості завислих речовин, що випадають на дно лабораторних циліндрів, залежно від тривалості процесу відстоювання шахтної води попередньо обробленої реагентами, представлені в табл. 3.12.

Для отримання більш достовірного кінцевого результату (очікуваних технологічних показників запропонованої відстійної споруди), дослідження процесу випадіння частинок зависі для конструктивних параметрів відстійника вдосконаленої конструкції проводилося на глибинах 0-8,9 м з інтервалом в 1 м. Необхідні для подальшого розрахунку геометричні параметри, що відповідають заданим глибинам запропонованого відстійника, представлені в табл. 3.13.

Результати розрахунку величин тривалості відстоювання шахтної води попередньо обробленої реагентами в запропонованому відстійнику при досягненні однакової ефективності її освітлення та заданій висоті рівня води, наведені в табл. 3.14.

Таблиця 3.12 – Результати дослідження процесу випадіння частинок зависі в лабораторних циліндрах при відстоюванні шахтної води попередньо обробленої реагентами

Проби води	Параметри:	
	концентрація частинок зависі, мг/дм ³	ефективність освітлення шахтної води, %
Вихідна шахтна вода	6926,481	0
Шахтна вода після відстоювання тривалістю, хв:		
15	1662,36	24
30	3324,71	48
45	5194,86	75
60	6580,16	95
75	6718,69	97
90	6787,95	98

Таблиця 3.13 – Геометричні параметри, що відповідають заданим глибинам запропонованого відстійника

Параметр, що відповідає заданій глибині	Рівень води, що відповідає глибині запропонованого відстійника, м								
	1	2	3	4	5	6	7	8	8,9
Ширина b_i , м	8,9	8,5	8,2	7,8	7,4	7,0	6,7	6,3	6,0
Довжина L_i , м	2,3	4,0	5,7	7,5	9,2	10,9	12,6	14,4	16,0

Таблиця 3.14 – Залежність ефективності освітлення від тривалості процесу відстоювання шахтної води попередньо обробленої реагентами на заданих глибинах запропонованого відстійника

Ефективність освітлення шахтної води, P , %	Тривалість процесу відстоювання шахтної води у відстійнику на певній глибині, с								
	1 м	2 м	3 м	4 м	5 м	6 м	7 м	8 м	8,9 м
24	1050	1249	1382	1485	1570	1643	1708	1766	1814
48	2100	2497	2764	2970	3140	3286	3416	3532	3627
75	3150	3746	4145	4455	4710	4929	5123	5297	5441
95	4200	4994	5527	5940	6280	6573	6831	7063	7254
97	5250	6243	6909	7425	7850	8216	8539	8829	9068
98	6300	7491	8291	8910	9420	9859	10247	10595	10881

Результати розрахунку величин гідравлічної крупності (U_0 , мм/с), представлені у вигляді залежностей швидкості осідання частинок зависі на заданих глибинах запропонованого відстійника від ефективності освітлення шахтної води попередньо обробленої реагентами на рис. 3.7.

На підставі отриманих експериментальних даних встановлено, що величини гідравлічної крупності частинок зависі (U_0 , мм/с) та ефективність

освітлення (P , %) шахтної води попередньо обробленої реагентами, на заданих глибинах запропонованого відстійника, описуються логарифмічними залежностями (табл. 3.15).

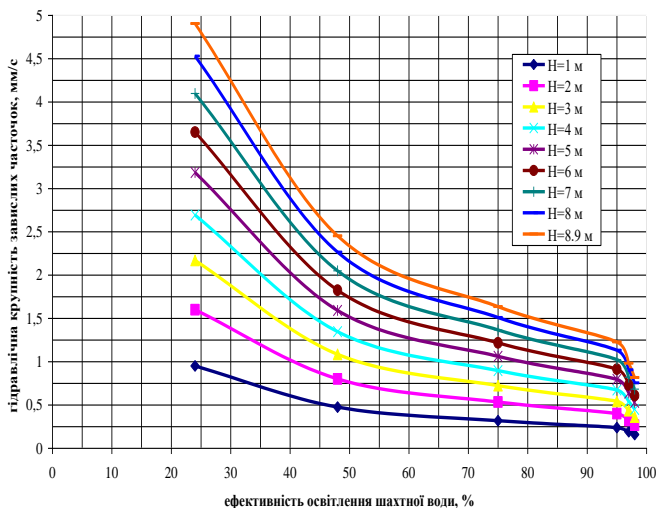


Рис. 3.7 – Залежність зміни швидкості осідання частинок зависі на заданих глибинах запропонованого відстійника від ефективності освітлення шахтної води попередньо обробленої реагентами

Таблиця 3.15 – Залежності величин гідралічної крупності частинок зависі від ефективності освітлення шахтної води попередньо обробленої реагентами на заданих глибинах запропонованого відстійника

Глибина запропонованого відстійника	Отримана залежність	Достовірність апроксимації
$H_1=1$ м	$U_0 = -0,5251 \ln(P) + 2,584$	$R^2=0,9787$
$H_2=2$ м	$U_0 = -0,8835 \ln(P) + 4,3469$	$R^2=0,9788$
$H_3=3$ м	$U_0 = -1,198 \ln(P) + 5,8941$	$R^2=0,9787$
$H_4=4$ м	$U_0 = -1,4869 \ln(P) + 7,3151$	$R^2=0,9788$
$H_5=5$ м	$U_0 = -1,7577 \ln(P) + 8,6476$	$R^2=0,9787$
$H_6=6$ м	$U_0 = -2,0155 \ln(P) + 9,9162$	$R^2=0,9788$
$H_7=7$ м	$U_0 = -2,2614 \ln(P) + 11,126$	$R^2=0,9787$
$H_8=8$ м	$U_0 = -2,4999 \ln(P) + 12,3$	$R^2=0,9787$
$H_9=8,9$ м	$U_0 = -2,7073 \ln(P) + 13,32$	$R^2=0,9788$

Виходячи з фактичної кількості шахтних вод, що відкачуються на поверхню шахтою «Тернівська» ПАТ «Криворізький залізорудний комбінат» ($158,92 \text{ м}^3/\text{год} = 0,0441 \text{ м}^3/\text{с}$), та результатів дослідження процесу випадіння

частинок зависі для параметрів запропонованої відстійної споруди, технологічна схема очищення передбачає встановлення одного відстійника вдосконаленої конструкції.

Результати розрахунків величин l , на яких частинки зависі певної гідравлічної крупності зможуть випасти на дно запропонованого відстійника, при заданих значеннях рівня шахтної води попередньо обробленої реагентами та ефективності її освітлення представлені в табл. 3.16.

Таблиця 3.16 – Відстані, на яких частинки зависі певної гідравлічної крупності зможуть випасти на дно запропонованого відстійника

Ефективність освітлення шахтної води, P , %	Відстань l , м, на якій частинки зависі випадуть на дно запропонованого відстійника на певній глибині, м								
	1	2	3	4	5	6	7	8	8,9
24	10,0	8,41	8,98	10,25	11,6	13,14	14,7	16,41	18,0
48	-	14,7	13,1	13,58	14,6	15,8	17,1	18,79	20,3
75	-	-	19,8	18,23	18,4	19,28	20,3	21,89	23,3
95	-	-	-	-	-	-	26,1	28,81	-
97	-	-	-	-	-	-	-	-	-
98	-	-	-	-	-	-	-	-	-

За допомогою отриманих значень можна визначити глибину (h_{os} , м) осідання частинок зависі певної гідравлічної крупності в місці випуску освітленої води (кінцева торцева стінка запропонованого відстійника).

Зазначені глибини при заданому значенні ефективності освітлення (P , %) шахтної води попередньо обробленої реагентами, при прийнятій довжині відстійника ($L=16$ м) представлені в табл. 3.17 і на рис. 3.8.

Таблиця 3.17 – Глибина осідання частинок зависі певної гідравлічної крупності при заданому значенні ефективності освітлення шахтної води попередньо обробленої реагентами

Ефективність освітлення шахтної води P , %	24	48	75	95
Глибина осідання частинок зависі певної гідравлічної крупності h_{os} , м	7,75	6,13	3,35	0,6

За допомогою цієї залежності можна визначити значення очікуваної ефективності освітлення шахтної води попередньо обробленої реагентами, а потім, за раніше отриманими залежностями (табл. 3.15), й гідравлічну крупність частинок зависі, що осідають у кінцевій торцевій стінці запропонованого відстійника, висота якої складає $H_K=8,9$ м.

Значення очікуваних технологічних показників запропонованого відстійника, що розраховуються для умов водовідливу шахти «Тернівська» ПАТ «Криворізький залізорудний комбінат», наведено в табл. 3.18.

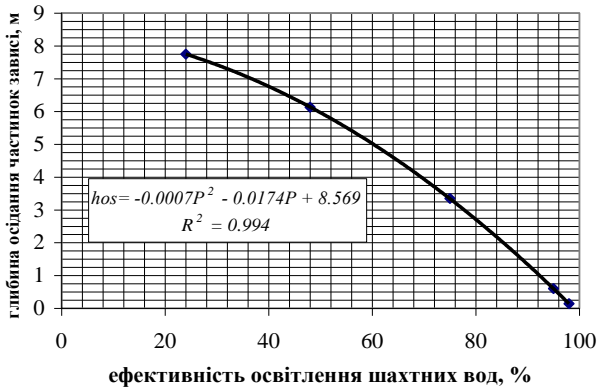


Рис. 3.8 – Залежність глибини осідання частинок завсі певної гідравлічної крупності від величини ефективності освітлення шахтної води попередньо обробленої реагентами, при заданій довжині запропонованого відстійника

Таблиця 3.18 – Значення очікуваних технологічних показників запропонованого відстійника для умов водовідливу шахти «Тернівська» ПАТ «Криворізький залізрудний комбінат»

Очікувана ефективність освітлення шахтної води, P, %	Орієнтовна глибина осідання частинок завсі, h _{os} , м	Гідравлічна крупність частинок завсі, U ₀ , мм/с
98,0	0,14	0,907

Кінцева концентрація частинок завсі в шахтній воді після її освітлення у відстійнику вдосконаленої конструкції розраховується за формулою (3.22) та складає:

$$C_K = 6926,481 - 6926,481 \cdot \frac{98}{100} = 138,53 \text{ мг/дм}^3.$$

Таким чином, отримане значення кінцевої концентрації частинок завсі, що містяться в шахтній воді після її освітлення у відстійнику вдосконаленої конструкції, не перевищує граничного вмісту завислих речовин, який дозволяє приймати воду на доочищення в швидкі зернисті фільтри з висхідним потоком рідини (150 мг/дм³).

Характеристика кінцевих продуктів, що утворюються при впровадженні запропонованої технології переробки високомінералізованих шахтних вод, на прикладі шахти «Тернівська» ПАТ «Криворізький залізрудний комбінат»

Запропонована технологія комплексної переробки високомінералізованих шахтних вод, що відкачуються шахтою «Тернівська» ПАТ «Криворізький залізрудний комбінат», працюватиме 24 години на добу, 365 діб на рік.

Подача високомінералізованих шахтних вод на переробку складає 1392,14 тис. м³/рік, що відповідає 0,159 тис. м³/год. Середнє значення загальної мінералізації приймаємо 20 г/дм³ (табл. 3.10).

В процесі попереднього очищення шахтних вод у відстійнику вдосконаленої конструкції зі стоків видаляються завислі та колоїдні речовини, сполуки кальцію та магнію, що будуть зосереджені у фракції шламу. Зазначений шлам після ущільнення та фільтрування на фільтрпресі може використовуватися в якості сировини для виготовлення цементу та інших будівельних сумішей.

Під час процесу зворотного осмосу приблизно три чверті витрат рідини (75%), що надходить на знесолення, перетворюються на демінералізовану воду. Отже, на виході зі зворотно-осмотичної установки буде утворюватися приблизно 1044,105 тис. м³/рік демінералізованої води та 348,035 тис. м³/рік висококонцентрованого сольового розчину, відповідно.

Отриманий високомінералізований розсіл (з солемістом близько 80 г/дм³) надходить на останній етап процесу знесолення – випаровування/кристалізація. Приблизно 90% від кількості висококонцентрованого сольового розчину, що надходить до вакуум-випарної установки з рекомпресією водяної пари та кристалізатором, перетворюються на демінералізовану воду. Отже, на виході з випарної установки буде утворюватися приблизно 313,232 тис. м³/рік демінералізованої води та 34,803 тис. м³/рік згущеної соляної суміші, відповідно.

Після кристалізації та центрифугування з 1 м³/год згущеної соляної суміші на виході з установки утворюється приблизно 30 кг/год твердого продукту (мінеральних солей). Таким чином, загальна кількість твердого продукту на виході з вакуум-випарної установки з рекомпресією водяного пара та кристалізатором складатиме 119,2 кг/год або 1044,2 тонн/рік.

Приймаємо, що після досушування вихід готового продукту (суміші мінеральних солей) буде складати приблизно 70% від ваги сировини, яка надійшла до сушарки для зниження вмісту вологості з 20-30% до 8-10%. В цьому випадку загальна кількість суміші мінеральних солей, що утворюється після комплексної переробки високомінералізованих шахтних вод шахти «Тернівська» ПАТ «Криворізький залізорудний комбінат» за запропонованою технологією, складатиме 84,43 кг/год або 739,636 тонн/рік.

Балансова схема процесу демінералізації шахтних вод гірничодобувних підприємств Криворізького залізорудного басейну, на прикладі шахти «Тернівська» ПАТ «Криворізький залізорудний комбінат», за запропонованою технологією комплексної переробки наведена на рис. 3.9.

Очищена за запропонованою технологією шахтна вода, гідрохімічні показники якої відповідають вимогам екологічної безпеки, може служити додатковим джерелом прісної води для задоволення господарсько-питних та виробничих потреб шахтарських міст та селищ. Отриманий в процесі комплексної переробки твердий продукт являє собою суміш мінеральних солей, в основному хлориду натрію, який в подальшому може використовуватися в

якості реагенту для пом'якшення води або в комунальному господарстві в якості технічної солі.

Таким чином, після комплексної переробки високомінералізованих шахтних вод за запропонованою технологією за рік буде отримано приблизно 1357,337 тис. м³ знесолоної води та близько 739,636 тонн суміші мінеральних солей.

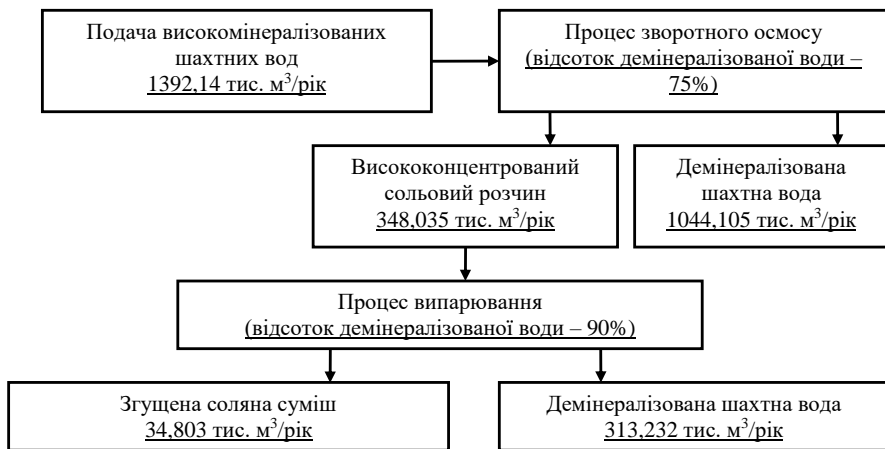


Рис. 3.9 – Балансова схема процесу демінералізації шахтних вод гірничодобувних підприємств Криворізького залізорудного басейну, на прикладі шахти «Тернівська» ПАТ «Криворізький залізорудний комбінат», за запропонованою технологією комплексної переробки

Отже, запропонована технологія комплексної переробки високомінералізованих шахтних вод може вважатися практично безвідходною, оскільки всі домішки вилучаються з води у вигляді цінної сировини.

Таким чином, в дослідженні вирішене актуальне науково-практичне завдання, що полягає в розробці та обґрунтуванні технології комплексної переробки високомінералізованих шахтних вод гірничодобувних підприємств Криворізького залізорудного басейну, на прикладі шахти «Тернівська» ПАТ «Криворізький залізорудний комбінат».

Запропонована технологія основана на послідовному застосуванні декількох стадій, а саме: попередньої обробки забруднених шахтних вод методами коагуляції та содо-вапняного пом'якшення для видалення солей жорсткості (кальцію та магнію), завислих і колоїдних речовин; знесолення на зворотно-осмотичній установці; випарювання та кристалізація концентрату зворотного осмосу у вакуум-випарній установці з рекомпресією водяної пари та кристалізатором; зневоднення сольового шламу на центрифугі з досушуванням кристалів солей в сушарці.

Після комплексної переробки високомінералізованих шахтних вод за запропонованою технологією буде отримано приблизно 1357,337 тис. м³ знесолоної води з вмістом солей до 100 мг/дм³ та близько 739,636 тонн суміші мінеральних солей за рік.

Впровадження запропонованої технології дозволяє отримати знесолону воду, гідрохімічні показники якої відповідають нормативам якості поверхневих водойм, та товарні мінеральні продукти, що можуть використовуватися в якості цінної сировини на потреби народного господарства.

Для зниження енергетичних витрат при демінералізації шахтної води пропонується на хвостосховищі ПрАТ «Північний гірничозбагачувальний комбінат» встановити плавучу сонячну установку, площа якої складатиме приблизно 1,5% від загальної площі дзеркала води штучної водойми Криворізького залізорудного басейну [89].

3.3. Удосконалення технологічної схеми очищення шахтних вод вугледобувних підприємств на основі їхнього доочищення методом фільтрування

Шахтна вода забруднюється на всіх стадіях технологічного процесу виробництва. Її фізико-хімічний склад і властивості дуже різноманітні, істотно змінюються за вугільними басейнами, родовищами й районами, та формуються під впливом багатьох чинників.

Найбільш негативний вплив на водні об'єкти вугледобувних регіонів зумовлює скид гірничими підприємствами шахтних вод. Це пояснюється їх величезним припливом, низькою якістю за багатьма показниками, що не відповідають сучасним вимогам Правил охорони поверхневих вод від забруднення [90], а також масштабним впливом процесів вуглевидобутку на водні об'єкти протягом тривалого часу на величезній території. Саме тому шахтні води є небезпечним компонентом сучасного промислового виробництва, які привносять у навколишнє середовище незворотні зміни, погіршуючи якість води у природних водоймах.

У зв'язку з наростаючим дефіцитом прісної води і збільшенням кількості промислових стічних вод, що скидаються в прилеглі водойми, велике значення набуває питання очищення та використання останніх для технічного водопостачання. Це дозволить, з одного боку, знизити використання питної води для потреб, не пов'язаних з питним і побутовим водопостачанням, і, з іншого – поліпшити санітарний стан поверхневих і підземних вод.

Незважаючи на зростаючі наукові та технічні можливості, проблема охорони поверхневих вод і, зокрема, санітарної охорони водойм від забруднення шахтними водами залишається достатньо актуальною [91]-[92].

Технологічна схема очищення шахтних вод повинна бути простою, розрахованою на мінімальну кількість процесів, і здійснюватися в строго заданих умовах. Саме тому підбору очисних споруд і режиму їхньої роботи необхідно приділяти більш особливу увагу.

Впровадження запропонованої вдосконаленої технологічної схеми очищення шахтних вод на вугледобувному підприємстві знижує вміст завислих речовин у воді після I ступеня очищення в ставках-освітлювачах до 30-50 мг/л. Після II ступеня очищення в швидких відкритих зернистих фільтрах з висхідних потоком рідини вміст тонкодисперсних завислих частинок в доочищеній воді знижується до 5 мг/л. Це дозволяє, по-перше, використовувати її на виробничі потреби шахти та власні потреби очисних споруд, а, по-друге, надлишок доочищеної води може скидатися до прилеглих поверхневих водойм, не перевищуючи відповідних нормативів їхньої якості.

Виходячи з вимог, що пред'являються до якості води, основними методами очищення шахтних вод від завислих речовин є відстоювання у відстійниках і ставках-освітлювачах та фільтрування через шар зернистого матеріалу, сітки та тканини. Дослідницькі роботи [93]-[95] та практичний досвід очищення шахтних вод свідчать про те, що застосовувані методи очищення та очисні споруди мають цілком певну ефективність, яка досягається при оптимальних технологічних параметрах роботи споруд та їхній правильній експлуатації.

Технологічна схема зі ставками-освітлювачами може ефективно застосовуватися для очищення шахтних вод, в яких завислі речовини мають гарні седиментаційні властивості, тобто кінетично нестійкі та здатні до коагуляції без введення хімічних реагентів (коагулянтів). При цьому, технічно досягнута якість очищеної шахтної води після ставка-освітлювача за вмістом завислих речовин не перевищує 30-50 мг/л.

Перевагою технології очищення стічних вод з використанням ставків-освітлювачів є поєднання процесів освітлення води та складування осаду, простота їх влаштування та експлуатації, а також високі ефективність та надійність їхньої роботи.

Особливо хороші результати отримуються у початковий період: в ставках вода повністю очищується. Потім, по мірі накопичення осаду, ефективність очищення падає, кількість завислих речовин на виході перевищує допустимі концентрації і використовувати ці води в господарсько-побутових цілях можна тільки після додаткового очищення.

Різниця складу і технологічних властивостей шахтних вод, з одного боку, і вимог до якості очищеної води, з іншого, не дозволяє обрати одну універсальну технологічну схему, яка в усіх випадках забезпечувала б необхідний ступінь очищення і одночасно була б найбільш економічною.

На практиці очищення шахтних вод від завислих речовин проводиться з використанням різних методів і споруд, які істотно відрізняються один від одного за ефективністю та іншими техніко-економічними показниками.

Аналіз існуючих методів і засобів зниження рівня екологічної небезпеки скиду забрудненої шахтної води вугледобувними підприємствами у поверхневі водойми показав, що за допомогою діючих технологій очищення шахтних вод можна затримати тільки крупні завислі домішки (частинки вугілля та породи). Внаслідок цього, в поверхневі водойми надходить близько 95% недостатньо очищених шахтних вод, що призводить до замулювання водних об'єктів.

Метою даного дослідження є удосконалення технологічної схеми очищення шахтних вод на основі їхнього доочищення методом фільтрування для ефективного зниження вмісту тонкодисперсних завислих речовин до нормативних показників якості поверхневих водойм.

Вдосконалення технологічної схеми очищення шахтних вод на діючих вугледобувних підприємствах шляхом встановлення на завершальному етапі очищення швидких відкритих зернистих фільтрів з висхідним потоком рідини на весь приплив, дозволяє вилучати із забрудненої води не тільки грубодисперсні завислі речовини, але й дрібнодисперсні вугільні та породні частинки, вміст яких може досягати 50-70% від загальної маси дисперсної фази.

Скид шахтних вод у водойми регламентується «Правилами охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами». Правилами, насамперед, передбачається обмеження відведення у водойми тих стічних вод, які можуть бути використані при раціональній технології виробництва в системах зворотного водопостачання, а також при дотриманні необхідних санітарних вимог у сільському господарстві.

За величиною граничної концентрації завислих речовин у воді, призначеної для використання, всі основні споживачі (технологічні процеси й апарати) можуть бути розділені на дві групи.

До I групи належать технологічні процеси мокрого збагачення вугілля, профілактичне замулювання і гідрозакладки, профілактика самозаймання і гасіння породних відвалів, гідродобування, гідротранспорт і котельні (гідрозоловидалення), до II групи – котельні (отримання пара), стаціонарні компресорні та дегазаційні установки, кондиціонери, боротьба з пилом.

Споживачі I групи не пред'являють високих вимог до якості води за концентрацією завислих речовин і можуть використовувати шахтні води без попереднього очищення. Досвід показує, що використання неочищених шахтних вод цими споживачами при відповідності інших показників хімічного складу не призводить до будь-яких небажаних наслідків.

Концентрація завислих речовин у воді, призначеної для споживачів II групи, повинна знаходитися в межах 5-30 мг/л. Виходячи з цього, шахтні води можуть бути використані споживачами II групи, як правило, за умови попереднього очищення від завислих речовин.

У загальному випадку технологія очищення нейтральних шахтних вод включає ряд технологічних процесів. У кожному конкретному випадку в залежності від складу і технологічних властивостей шахтних вод, вимог до глибини очищення і особливостей застосовуваних методів і пристроїв окремі процеси можуть бути повністю виключені з технології або поєднані з іншими процесами. Крім того, одні й ті ж технологічні процеси можуть здійснюватися з використанням різних за своїм конструктивним виконанням споруд і апаратів. Ці обставини обумовлюють велику різноманітність застосовуваних на практиці технологічних схем.

Для можливості зіставлення їх між собою і техніко-економічної оцінки, розроблені загальні вимоги до технології очищення та очисних споруд, які зводяться до наступних:

- технологія очищення повинна передбачати 3 основні стадії: видалення завислих речовин (або освітлення), знезараження води, обробку (або складування) осаду;

- видалення завислих речовин необхідно проводити в одну або дві ступені в залежності від їхньої концентрації у вихідній шахтній воді;

- технологія очищення повинна забезпечувати отримання необхідної якості очищеної води при зміні кількості й якості вихідної шахтної води по сезонах року, а також в результаті розкриття нових горизонтів і освоєння нових ділянок шахтного поля;

- якість очищення шахтних вод повинна забезпечувати можливість широкого використання очищеної води на виробничі потреби підприємств і задовольняти умовам скиду надлишкового об'єму у водойми;

- очисні споруди повинні бути надійними в роботі, економічними, простими в будівництві та експлуатації, за можливістю компактними та не повинні займати великих площ, придатних для використання в народному господарстві;

- технологічні процеси очищення води й обробки осаду повинні максимально піддаватися механізації, дистанційному управлінню і автоматизації;

- сукупність технологічних схем очищення повинна охоплювати весь можливий діапазон зміни припливів, складу і технологічних властивостей шахтних вод.

На підставі аналізу результатів виконаних наукових досліджень, практичного досвіду застосування різних технологічних схем очищення шахтних вод і виявлення відповідності цих схем перерахованим вище загальним вимогам, обрано найбільш сучасні та ефективні технологічні схеми очищення шахтних вод з використанням ставків-освітлювачів, що наведені в табл. 3.19.

Технологічні схеми забезпечують різний ступінь очищення шахтних вод. Очищення від завислих речовин проводиться в одну або в дві ступені. У двоступеневих технологічних схемах, залежно від конкретних умов, глибокому очищенню може піддаватися весь об'єм шахтних вод або тільки деяка його частина. Кожна технологічна схема забезпечує задану ефективність і є найбільш економічною тільки в певних, характерних для неї умовах застосування, при певному складі та технологічних властивостях шахтної води.

Очисні споруди за даними технологічними схемами призначені для очищення від завислих речовин і знезараження нейтральних шахтних вод з $pH=6,5-8,5$ з метою подальшого її використання на виробничі потреби шахти та сусідніх з нею підприємств, а також для запобігання забрудненню водойм, внаслідок скиду надлишкового об'єму шахтної води. Загальна концентрація завислих речовин у вихідній шахтній воді не обмежується. Вміст тонкодисперсних частинок гідралічною крупністю менше 0,05 мм/с не повинен перевищувати 50 мг/л.

Таблиця 3.19 – Умови застосування технологічних схем з використанням ставків-освітлювачів і показники ефективності очищення

Технологічна схема	Продуктивність очисних споруд, м ³ /год	Концентрація завислих речовин, мг/л:		
		у вихідній воді	в очищеній воді	
			після I ступеня	після II ступеня
Ставок-відстійник великої ємності	не обмежується	не обмежується	30-50	-
Каскад ставків-відстійників	не обмежується	не обмежується	20-30	-
Ставок-відстійник та швидкі фільтри на частину припливу	не обмежується	не обмежується	30-50	10-20
Ставок-відстійник та швидкі фільтри на весь приплив	не обмежується	не обмежується	30-50	до 5

Розглянуті вище методи очищення шахтних вод від завислих речовин покладені в основу запропонованої для застосування вдосконаленої технологічної схеми очищення шахтних вод.

При очищенні шахтних вод на вугледобувних підприємствах за існуючою технологічною схемою, яка складається зі ставка-освітлювача великої ємності, якість води не відповідає нормативам, що пред'являються до водойм рибогосподарського призначення за вмістом завислих речовин. Тому було запропоновано вдосконалити її шляхом встановлення на завершальному етапі очищення попередньо освітленої шахтної води швидких відкритих зернистих фільтрів з висхідним потоком рідини на весь приплив. В цьому випадку технічно досяжна якість очищеної шахтної води за вмістом завислих речовин не перевищує 5 мг/л.

При цьому продуктивність очисних споруд не обмежується.

Вдосконала технологічна схема очищення шахтних вод на основі її доочищення методом фільтрування наведена на рис. 3.10.

У запропонованій технологічній схемі шахтна вода по напірному або самопливному трубопроводу надходить до ставка-освітлювача 1 великої ємності, відстоюється в ньому та подається насосом 2 на швидкі відкриті зернисті фільтри 3. При цьому вміст завислих речовин в попередньо освітленій шахтній воді перед надходженням до фільтрів складає 30-50 мг/л.

Головною особливістю запропонованої схеми є здійснення фільтрування попередньо освітленої шахтної води в напрямку спадної крупності зерен завантаження вздовж потоку (знизу вгору). Як наслідок, збільшується брудоемність фільтра, тривалість фільтроциклу, виключається можливість замулювання дрібнозернистих шарів завантаження.

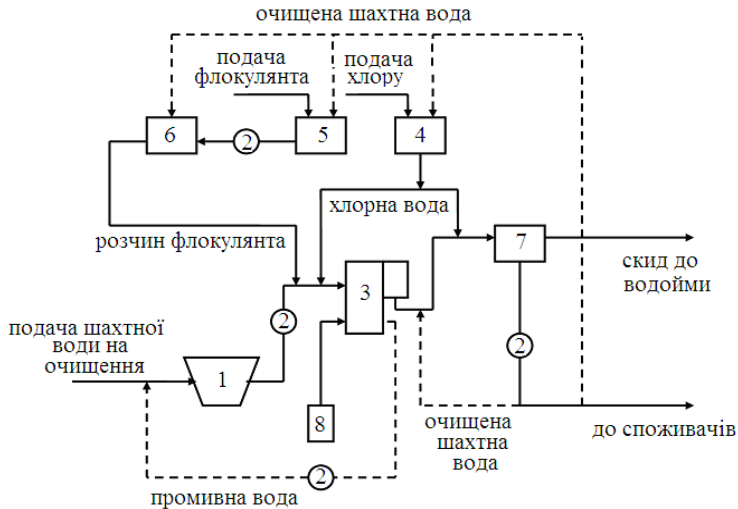


Рис. 3.10 – Удосконалена технологічна схема очищення шахтних вод на основі її доочищення методом фільтрування:

- 1 – ставок-освітлювач великої ємності; 2 – насоси; 3 – швидкий фільтр;
 4 – хлораторна; 5 – розчинний бак флокулянта; 6 – витратний бак флокулянта;
 7 – резервуар очищеної шахтної води

З метою підвищення якості очищення води, фільтрування її може проводитися з попередньою обробкою розчином флокулянта. Для зниження об'єму осаду, що утворюється, в якості реагенту приймається поліакриламід (ПАА). Приготування концентрованого розчину флокулянта відбувається в розчинному баку 5 з механічним перемішуванням. Із розчинного баку 5 концентрований розчин флокулянта перекачується насосом 2 у витратний бак 6, розбавляється в ньому до робочої концентрації та дозується за допомогою поплавкового дозатора в шахтну воду, що доочищується, перед надходженням її на фільтри. Промивання фільтрів здійснюється очищеною шахтною водою з резервуара 7 за допомогою спеціального насоса та повітрям від повітродувки. Забруднена промивна вода насосом 2 надходить на очищення до ставка-освітлювача сумісно з вихідною шахтною водою.

Фільтрат (доочищена шахтна вода) змішується з хлорною водою, що виготовляється в хлораторі 4, і направляється до резервуара очищеної води 7 для знезараження.

Очищена вода з резервуара використовується на виробничі потреби шахти та власні потреби очисних споруд. Надлишковий об'єм води скидається до прилеглих водойм.

До переваг вдосконаленої технологічної схеми очищення шахтних вод на основі її доочищення методом фільтрування можна віднести:

- можливість застосовуватися в широкому діапазоні припливів шахтних вод;
- забезпечення високої якості очищеної шахтної води незалежно від початкової концентрації завислих речовин, що дозволяє широко використовувати її на виробничі потреби підприємств;
- застосування одного реагенту (зазвичай флокулянта), що спрощує реагентне господарство;
- зневоднення та складування осаду суміщається в одній споруді з освітленням вихідної шахтної води і не вимагає великих експлуатаційних витрат;
- очисні споруди прості в будівництві та експлуатації, характеризуються найнижчими питомими капітальними експлуатаційними витратами.

Таким чином, вирішене актуальне практичне завдання, що полягає в удосконаленні технологічної схеми очищення шахтних вод за рахунок встановлення на завершальному етапі очищення швидких відкритих зернистих фільтрів з висхідним потоком рідини на весь приплив.

Впровадження запропонованої технологічної схеми очищення шахтних вод на вугледобувному підприємстві знижує вміст завислих речовин у воді після I ступеня очищення в ставках-освітлювачах до 30-50 мг/л. Після II ступеня очищення в швидких відкритих зернистих фільтрах з висхідним потоком рідини вміст тонкодисперсних завислих частинок в доочищеній воді знижується до 5 мг/л.

Впровадження удосконаленої технологічної схеми очищення шахтних вод шляхом встановлення на завершальному етапі очищення швидких відкритих зернистих фільтрів з висхідним потоком рідини на весь приплив ефективно знижує вміст тонкодисперсних частинок зависі, що дозволить, по-перше, використовувати доочищену воду на виробничі потреби шахти та власні потреби очисних споруд, а, по-друге, надлишок – скидати до прилеглих поверхневих водойм, не перевищуючи відповідних нормативів їхньої якості [96].

3.4. Удосконалення технологічної схеми очищення стічних вод гальванічних цехів підприємств вугільного машинобудування

Гальванічне виробництво відноситься до числа найбільш небезпечних. Оскільки підприємства характеризуються значним різноманіттям технологічних процесів, складом розчинів та електролітів, широкою гамою деталей, що оброблюються, то й утворюються стічні води достатньо різноманітні як за якісним, так і за кількісним складом.

Діючі в країні цеха та ділянки побудовані за однією технологією та вирішують тільки завдання нанесення покриття або обробки поверхні металу, практично не враховуючи процесів видалення іонів важких металів зі стічних вод, утилізації гальванічних відходів і захисту навколишнього природного середовища. Багато підприємств до сих пір використовують старі та вже не

ефективні процеси очищення, а іноді й не мають очисних споруд взагалі, що призводить до потрапляння неочищених і недостатньо очищених стічних вод в поверхневі водойми.

Кардинальне вирішення проблеми забруднення водних ресурсів полягає в розробці та впровадженні замкнутих водооборотних циклів і ресурсозберігаючих технологічних процесів, що дозволяють повертати цінні компоненти у виробництво, виключаючи скид забруднених стічних вод у водні об'єкти, що є економічно виправданим і екологічно перспективним.

Удосконалено існуючу технологічну схему очищення стічних вод гальванічних цехів підприємств вугільного машинобудування на основі їхнього доочищення методом іонного обміну. Запропоновано на завершальному етапі очищення стічних вод встановити іонообмінні фільтри. Впровадження запропонованої вдосконаленої технологічної схеми очищення стічних вод значно знижує вміст сполук важких металів та інших забруднюючих речовин до нормативів якості води, що дозволяє створити на виробництві систему замкнутого водообороту, тобто повернути до 95% доочищеної води на власні виробничі потреби (приготування розчинів і електролітів, промивні операції тощо).

Вугільне машинобудування є однією з ключових галузей гірничо-металургійного комплексу. Ці підприємства виготовляють гірничошахтне устаткування для всього технологічного циклу видобутку вугілля та електротехнічне обладнання до нього.

У вугільному машинобудуванні основними джерелами забруднення поверхневих водойм є процеси, що пов'язані з підготовкою та обробкою поверхні виробів хімічними та електрохімічними методами: травлення і гальванотехнічні процеси. При цьому, травильні та гальванічні відділення утворюють до 60% виробничо-технічних стічних вод.

Забруднені виробничі стоки становлять загрозу для стану водних об'єктів, тому що містять високотоксичні речовини, серед яких найбільш небезпечними є сполуки важких металів. Останні, потрапляючи в природні водойми і взаємодіючи з іншими елементами, утворюють надзвичайно токсичні сполуки, навіть незначні кількості яких можуть призвести до несприятливих наслідків для здоров'я людини і стану навколишнього середовища. Важкі метали, включаючись в харчовий ланцюг, здатні концентруватися в організмах до кількостей, які в сотні й тисячі разів перевищують їхній вміст в природному середовищі. Слід зазначити й те, що метали мають яскраво виражений ефект сумації, через що спільна присутність кількох елементів підсилює їхню токсичну дію в кілька разів [97]-[99].

Питання запобігання забрудненню водойм стічними водами тісно пов'язані зі скороченням споживання води на технологічні потреби виробництва і, відповідно, скороченням скиду стічних вод. Один з найбільш раціональних способів для досягнення цієї мети – використання очищених стічних вод в обороті.

Керуючись економічними та екологічними міркуваннями можна організувати замкнутий водооборот промислового виробництва з поверненням

до 85-95% очищених стічних вод. Тому кардинальне вирішення проблеми забруднення водних ресурсів полягає в розробці та впровадженні замкнених водооборотних циклів і ресурсозберігаючих технологічних процесів, що є економічно виправданим і екологічно перспективним.

Проблемі очищення стічних вод гальванічних цехів підприємств машинобудування присвячено багато наукових праць [100]-[111]. В основному всі роботи присвячені реагентним і сорбційним методам очищення стічних вод від іонів важких металів. До недоліків роботи очисних споруд гальванічного виробництва слід віднести великі витрати реагентів та економічні витрати на їхню закупівлю, потребу в значних площах для реагентного господарства, вторинне забруднення очищених стічних вод, неможливість забезпечення дотримання вимог граничнодопустимих концентрацій при скиді очищених стічних вод у водойми рибогосподарського призначення.

З аналізу літературних джерел, присвячених проблемам очищення стічних вод гальванічних цехів підприємств вугільного машинобудування, впливає що кожен із зазначених методів, поряд з позитивними сторонами, відрізняється специфічними недоліками, що обумовлює необхідність подальшого пошуку економічно раціональних і ресурсозберігаючих методів і технологій очищення забруднених іонами важких металів стічних вод. Розробка і впровадження нових технологій дозволять мінімізувати вплив забруднених стічних вод на водне середовище і якісно проводити їх очищення з метою повторного використання в технологічному циклі.

Метою даного дослідження є удосконалення технологічної схеми очищення стічних вод гальванічних цехів підприємств вугільного машинобудування на основі їхнього доочищення методом іонного обміну для зниження вмісту забруднюючих речовин до норм, що дозволяють знов повертати очищену воду в технологічний процес.

Гальванічне покриття металу – це прекрасний спосіб уникнути багатьох проблем та збільшити термін служби устаткування, агрегатів та інших пристроїв. Нанесення гальванічного покриття являє собою електрохімічний процес, при якому відбувається осадження шару металу на поверхні виробу.

Гальванічні покриття підвищують твердість і зносостійкість поверхні виробів, інструменту, відновлюють зношені деталі. Широко застосовуються для захисту від корозії і з метою декоративної обробки поверхні виробів.

Кожен технологічний процес гальванічного нанесення металевих покриттів складається з ряду окремих операцій. Після кожної операції виріб промивають у холодній проточній воді, а після обробки в лужних розчинах – послідовно в гарячій і холодній воді. На заключній стадії обробки виріб послідовно промивається в холодній і гарячій воді та сушиться.

Таким чином, гальванічне виробництво нерозривно пов'язане зі скидом відпрацьованих промивних вод. Питомі витрати води залежать від застосовуваного обладнання та коливаються в широкому діапазоні від 0,2 до 2,3 м³ на 1 м² оброблюваної поверхні.

Стічні води гальванічних виробництв поділяються на такі основні категорії:

1. чисті, від охолодження технологічного обладнання (50-80% від загальної кількості стоків);
2. забруднені механічними домішками й маслами (10-15%);
3. забруднені кислотами, лугами, солями, сполуками хрому, цинку, міді, нікелю, ціану та іншими хімічними речовинами (50-80%);
4. відпрацьовані мастильно-охолоджувальні рідини (МОР) або емульсії (1-2%);
5. забруднені пилом вентиляційних систем і горілою землею ливарних цехів (10-20%);
6. поверхневі (дошові, талі, поливально-мийні).

Сполуки важких металів можуть перебувати в стічних водах практично всіх категорій, але найбільша їхня кількість знаходиться у водах третьої та четвертої категорій. Важкі метали можуть потрапляти в стічні води з технологічних розчинів, як продукти деструкції оброблюваних деталей і інструменту, при промиванні обладнання та виробів.

Стічні води третьої категорії утворюються в процесі хімічної та електрохімічної обробки виробів. Вони містять важкі метали переважно у вигляді хімічних сполук, як правило, розчинних.

Стічні води четвертої категорії утворюються при механічній обробці виробів. Основна маса важких металів знаходиться в них у вигляді дрібнодисперсних суспензій, але частина може перебувати у вигляді розчинних сполук.

Згрупувавши забруднення за характерними ознаками і специфічними способами їхнього знешкодження, стічні води гальванопокриття можна розділити на такі потоки:

- кислотно-лужні, концентровані та промивні (65-80%);
- хромовмісні (5-40%);
- ціановмісні (5-10%);
- фторовмісні (3-5%).

Склад забруднень в стічних водах гальванопокриття за цією класифікацією наведено в табл. 3.20.

Виходячи з даних табл. 3.20, можна зазначити, що кількісний і якісний склад стоків залежить від застосовуваної схеми й витрат води на промивання. Отже раціоналізація водоспоживання через вибір застосовуваного обладнання та схем промивання визначає об'єм, кількісний і якісний склад промивних і стічних вод, а, відповідно, і склад очисного обладнання, ефективність його роботи.

У сучасному виробництві використовується широка номенклатура технологічних процесів, пов'язаних з використанням води та утворенням забруднених стічних вод, основна маса яких не може бути скинута в міську систему каналізації або у водойми без попереднього очищення на локальних очисних спорудах. На досліджуваному підприємстві здійснюється спільне очищення відпрацьованих розчинів і промивних вод, що утворюються при

проведенні різних гальванічних операцій. Кількість гальванічних стічних вод складає 2880 м³/добу.

Таблиця 3.20 – Склад забруднень в стічних водах гальванопокриття

Група стічних вод	Основні технологічні процеси утворення стічних вод	Склад забруднень	pH
Кислотні	Попереднє травлення, кисле міднення, нікелювання, цинкування	H ₂ SO ₄ , HCl, HNO ₃ , H ₃ PO ₄ тощо	<6,5
Лужні	Знежирювання	NaOH, KOH, Ca(OH) ₂ тощо	>8,5
Стічні води, що містять солі важких металів	Поверхнева металообробка та нанесення гальванопокриття	Fe ²⁺ , Fe ³⁺ , Zn ²⁺ , Al ³⁺ , Cu ²⁺ тощо	<6,5
Ціановмісні	Ціаністе міднення, цинкування, кадміювання, сріблення	KCN, NaCN, CuCN, Fe(CN) ₂ , [Cu(CN) ₂] ⁻ , [Cu(CN) ₄] ₃ , [Zn(CN) ₄] ²⁻ тощо	2,8-11,5
Хромовмісні	Хромування, пасивація, травлення деталей зі сталі та інше	Cr ³⁺ , Cr ⁶⁺	2,3-8,8

Вміст іонів важких металів у стічних водах становить (мг/л): міді – 11,27; нікелю – 0,94; цинку – 65,69; хрому – 2,57. Концентрації аніонів у стічних водах, відповідно, дорівнюють (мг/л): сульфатів SO₄²⁻ – 65; хлоридів Cl⁻ – 59; фосфатів PO₄³⁻ – 0,5.

На очисних спорудах виробництва застосовується реагентний сорбційно-гідролітичний метод знешкодження гальванічних стоків, заснований на застосуванні двоцвалентного заліза, отриманого від одного з корпусів підприємства електрокоагуляційним методом.

Кислотно-лужні та хромовмісні стічні води надходять до усереднювача, звідки прямують до баків-реакторів (ємності каскадного очищення), куди додається коагулянт і повітря для перемішування стічних вод. У випадку відсутності відпрацьованого розчину хлориду заліза в ємності коагулянту, остання заповнюється двоцвалентним залізом, що отримується за рахунок анодного розчину залізних електродів під впливом постійного електричного струму в електрокоагуляторі, в якому також здійснюється відновлення іонів хрому. З проміжної ємності (куди додається вапняне молоко для підлужування стоків і флокулянт для прискорення процесу осадження й укрупнення частинок) знешкоджені від солей важких металів стоки насосами надходять до відстійника.

Для зниження вологості осаду, що утворюється в процесі відстоювання, його направляють на барабанний вакуум-фільтр, після якого утворений фільтрат повертають у відстійник для подальшого осадження.

Отриманий шлам, що складається з суміші феритів міді, цинку, нікелю та хрому, з вологістю близько 70% (за масою), направляється на полігон для

захоронення. Відстояні знешкоджені стоки, пройшовши касетний фільтр, скидаються в міську систему водовідведення.

Величини концентрацій забруднюючих речовин у стічних водах гальванічного виробництва, що пройшли очищення за існуючою технологічною схемою, наведені в табл. 3.21. Як видно з таблиці, необхідний ефект очищення стічних вод гальванічного виробництва не досягається при роботі очисних споруд за існуючою технологічною схемою. До недоліків роботи очисних споруд підприємства за такою технологічною схемою слід віднести великі витрати реагентів та економічні витрати на їхню закупівлю, потреба в значних площах для реагентного господарства, вторинне забруднення очищених стічних вод. Крім того, існуюча технологічна схема не передбачає очищення стічних вод від аніонів.

Таблиця 3.21 – Концентрації забруднюючих речовин до та після очищення стічних вод гальванічного виробництва за існуючою технологічною схемою

Іон-забруднювач	Концентрація іона-забруднювача у воді, мг/л:		Тимчасово узгоджена концентрація іона-забруднювача у воді, що скидається в міську каналізацію, мг/л
	до очищення	після очищення	
Cu ²⁺	11,27	0,1	0,005
Ni ²⁺	0,94	0,009	0,003
Zn ²⁺	65,69	0,7	0,030
Cr ³⁺	2,57	0,07	0,0001
SO ₄ ²⁻	65	65	100
Cl ⁻	59	59	101
PO ₄ ³⁻	0,5	0,5	0,2

Загальні вимоги до якості технічної води для приготування технологічних розчинів, електролітів і промивних операцій в гальванічному виробництві, способам її раціонального використання і застосування маловодних і маловідходних схем промивань встановлені відповідно до ДСанПіН 8.8.1.2.3.4-000-2001 [112]. Виконання вимог даного стандарту забезпечує скорочення витрат води, реагентів при знешкодженні гальванічних стоків і зниження навантаження на очисні споруди.

Технічна вода в гальванічному виробництві в залежності від галузі застосування поділяється на три категорії (табл. 3.22).

У гальванічному виробництві слід застосовувати системи багаторазового використання води, які в потрібних випадках забезпечують очищення води до необхідної якості і (або) рекуперацію цінних компонентів.

Виходячи з вимог, що пред'являються до якості технічної води для гальванічного виробництва, розроблена вдосконалена технологічна схема очищення стічних вод, що заснована на доповненні діючої технологічної схеми стадією доочищення методом іонного обміну.

Таблиця 3.22 – Застосування технічної води в гальванічному виробництві [112]

Категорія води	Галузь застосування	Примітки
I	Промивання деталей в операціях підготовки поверхні до покриття, крім II-ї та III-ї категорій	-
II	Приготування електролітів і промивання у всіх випадках, крім зазначених для вод III-ї категорії	Вода, що використовується на промивання, може бути застосована повторно, як вода I-ї категорії
III	Приготування електролітів і промивання перед обробкою в електролітах (розчинах), складених на воді III-ї категорії, а також при спеціальних вимогах до якості і зовнішньому вигляді, для особливо відповідальних деталей	Вода, що використовується на промивання, може бути застосована повторно, як вода I-ї та II-ї категорій

Іонообмінне очищення застосовується для вилучення зі стічних вод гальванічних виробництв солей важких, лужних і лужноземельних металів (цинку, міді, хрому, нікелю, свинцю, кадмію тощо), вільних мінеральних кислот і лугів, а також деяких органічних речовин. Цей метод очищення дозволяє вилучати цінні речовини при високому ступені очищення води [113]-[114].

Запропонована багатостадійна схема комплексного очищення стічних вод гальванічних виробництв включає традиційні, легко реалізовані, маловитратні методи, такі як:

- Реагентна обробка, як найпоширеніший спосіб очищення стоків, де двоступеневою реагентною обробкою здійснюється коригування рН гальванічних стоків для переведення важких металів в нерозчинну гідроокисну форму. При обробці стічних вод реагентами відбувається їхня нейтралізація та знебарвлення.

- Механічне очищення – флотажія, відстоювання, фільтрування. Метод дозволяє відокремити нерозчинні домішки, що утворюються. За вартістю механічні методи очищення відносяться до одних з найдешевших.

- Фільтрація води, що очищується, через напірні осадові, сорбційні та іонообмінні фільтри. На даній стадії з води видаляються завислі частинки, які залишилися, органічні сполуки, іони важких металів, нітрати, сульфати, хлориди тощо. Відбувається знесолення води та її знебарвлення.

- Збір і зневоднення шламів. Шлам збирається в поліпропіленові мішки та утилізується спеціальними підприємствами з утилізації.

Основна мета запропонованих методів – зниження вмісту важких металів до значень гранично допустимих концентрацій, що дозволяє здійснювати скид

очищеної води в міську каналізацію або повернення очищеної води у гальванічне виробництво.

Удосконалену технологічну схему очищення стічних вод гальванічного виробництва на основі їхнього доочищення методом іонного обміну наведено на рис. 3.11.

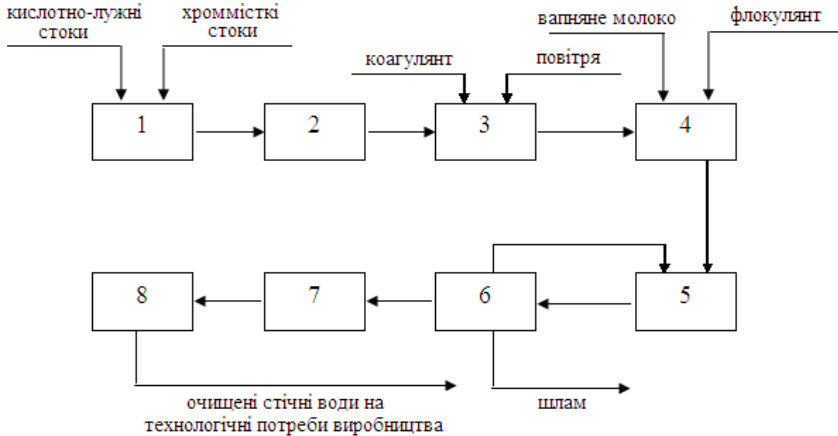


Рис. 3.11 – Удосконалена технологічна схема очищення стічних вод гальванічного виробництва на основі їхнього доочищення методом іонного обміну:

- 1 – усереднювач; 2 – електрокоагулятор; 3 – баки-реактори; 4 – проміжна ємність; 5 – відстійник; 6 – вакуум-фільтр; 7 – катіонітові фільтри; 8 – аніонітові фільтри

Стічна вода після очисних споруд гальванічного підприємства подається на іонообмінні фільтри – катіонітові 7 і аніонітові 8, після яких знов повертається на очисні споруди. Для забезпечення необхідної якості води з метою її повернення в технологічний процес з найменшими капітальними та експлуатаційними витратами передбачається схема водопідготовки – доочищення на Н-катіонітових і ОН-аніонітових протиточних фільтрах за технологією *UP.CO.RE*.

У фільтрі, який працює за цією технологією, вода, що обробляється, рухається зверху вниз, регенераційний розчин – знизу вгору. Технологія має всі переваги протиточних технологій і в той же час позбавлена недоліків.

Описані властивості протиточних технологій і деякі інші, що тут не зазначені, забезпечують такі показники (в порівнянні з паралельно-точною технологією):

- зменшення кількості фільтрів, що експлуатуються, в 1,5-2,5 рази (швидкість фільтрування води до 40-50 м/год);

- зменшення витрат реагентів приблизно в 2 і більше разів (питомі витрати кислоти 1,3-1,6 моль/моль, луги 1,4-1,5 моль/моль, натрій хлориду 1,2-1,3 моль/моль);

- збільшення майже в два рази робочої обмінної ємності фільтра за рахунок властивостей іонітів і можливості майже повністю заповнювати фільтр іонітом;

- зменшення витрат води на власні потреби приблизно вдвічі і, отже, зменшення вдвічі кількості стічних вод;

- нормативна якість очищеної води, що отримується при одноступінчатому фільтруванні, не гірше (а іноді навіть і краще), ніж при двохступінчатому фільтруванні.

В якості катіоніту, що використовується в протиточних іонообмінних фільтрах ФППр, застосовується катіоніт марки КУ-2-8 [115]. Катіоніт даного типу відрізняється механічною міцністю, осмотичною стабільністю і високою хімічною стійкістю до дії лугів, кислот, окислювачів. Не розчиняється у воді та органічних розчинниках. Неплавкий, негорючий, вибухобезпечний, неотруйний, радіоактивних і озонемісних речовин позбавлений. Стійкий до дії високих (110-120°C) температур. Його обмінна ємність мало залежить від рН середовища.

В якості аніоніту, що використовується в протиточних іонообмінних фільтрах ФППр, застосовується аніоніт марки АВ-17-8.

Для підвищення механічного очищення стічних вод доцільно використовувати сучасні високоефективні відстійники механічного очищення з ефективністю понад 90-97% за вмістом завислих речовин [40].

Величини концентрацій забруднюючих речовин в доочищеній воді за запропонованою вдосконаленою технологічною схемою та відсоткове зниження кількості забруднювача у співвідношенні до його нормативних значень наведено в табл. 3.23 та рис. 3.12.

Таблиця 3.23 – Концентрації забруднюючих речовин до та після очищення стічних вод гальванічного виробництва за запропонованою вдосконаленою технологічною схемою

Іон-забруднювач	Концентрація іона-забруднювача у воді, мг/л		Норматив для технічної води III-ї категорії, згідно з [112], мг/л
	до очищення	після доочищення	
Cu ²⁺	11,27	0,001	0,02
Ni ²⁺	0,94	-	-
Zn ²⁺	65,69	0,007	0,2
Cr ³⁺	2,57	-	-
SO ₄ ²⁻	65	0,007	0,5
Cl ⁻	59	0,006	0,02
PO ₄ ³⁻	0,5	-	1,0

Виходячи з даних табл. 3.23, можна зробити висновок, що ефективність очищення стічних вод гальванічного виробництва на іонообмінних фільтрах від катіонів і аніонів складає 99,99% від вихідної концентрації іонів-забруднювачів. При цьому концентрація забруднюючих речовин після доочищення за запропонованою вдосконаленою технологічною схемою не перевищує нормативів, які пред'являються до технічної води 3-ої категорії згідно зі стандартом ДСанПіН 8.8.1.2.3.4-000-2001. Це дозволить створити на підприємстві систему замкнутого водообороту, внаслідок чого на власні виробничі потреби буде повертатися до 95% очищеної води для приготування електролітів і промивання перед обробкою в електролітах (розчинах).

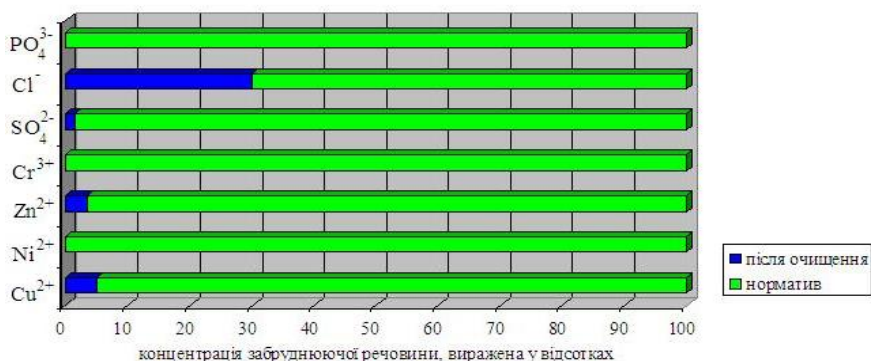


Рис. 3.12 – Відсоткове зниження концентрації забруднюючої речовини у співвідношенні до її нормативного значення після вдосконалення технологічної схеми очищення стічних вод гальванічного виробництва

Таким чином, у дослідженні вирішене актуальне практичне завдання, що полягає в удосконаленні технологічної схеми очищення стічних вод гальванічних цехів підприємств вугільного машинобудування за рахунок встановлення на завершальному етапі очищення Н-катіонітових та ОН-аніонітових фільтрів. Впровадження запропонованої вдосконаленої технологічної схеми очищення стічних вод на підприємстві значно знижує вміст сполук важких металів та інших забруднюючих речовин до нормативів ДСанПіН 8.8.1.2.3.4-000-2001 «Допустимі дози, концентрації, кількості та рівні вмісту пестицидів у сільськогосподарській сировині, харчових продуктах, повітрі робочої зони, атмосферному повітрі, воді водоймищ, ґрунті», що дозволяє створити на виробництві систему замкнутого водообороту, внаслідок чого на власні технологічні потреби повертається до 95% доочищеної води. Це значно знижує навантаження на навколишнє природне середовище. Крім того, підвищується рівень екологічної безпеки підприємства, оскільки виключається скид стічних вод до міських каналізаційних очисних споруд [116].

3.5. Обґрунтування доцільності модернізації споруд з очищення жировмісних стічних вод

Харчова промисловість є однією зі стратегічних галузей економіки, що має забезпечити стійке постачання населення необхідними якісними продуктами харчування. Сучасне виробництво харчової промисловості негативно впливає на екологічний стан довкілля, а його концентрація у великих містах – на умови життя та здоров'я населення.

Підприємства харчової промисловості відрізняються великими питомими витратами води та скидом сильно забруднених стічних вод.

До складу стічних вод харчових підприємств входять поверхнево-активні речовини (ПАР), жири, олії, мастильні матеріали, вуглеводні, органічні кислоти, які при розчинні у воді піддаються біологічному окисленню. Ці речовини, потрапляючи до водних джерел, утворюють на поверхні води плівку, яка перешкоджає газовому обміну між водою й атмосферою, що знижує ступінь насичення води киснем.

Жирові та органічні забруднення, що потрапляють до систем централізованого водовідведення населених пунктів зі стічними водами, утворюють на внутрішній стінці труб відкладення, що порушує безперебійну та ефективну роботу каналізаційної мережі. Саме тому, водоканали встановлюють жорсткі вимоги щодо якісного складу стічних вод, які скидаються до міської системи каналізації від підприємств та організацій.

Вимоги до вмісту як органічних, так і неорганічних забруднювачів у відкритих водоймах і стічних водах дуже жорсткі. Це обумовлено тим, що при їхньому накопиченні у воді погіршуються санітарно-гігієнічні показники її якості.

Відсутність або недосконалість методів очищення виробничих стічних вод, а іноді й порушення правил охорони водойм є причиною їхнього забруднення речовинами різноманітного походження.

Проблема очищення стічних вод харчових підприємств стоїть досить гостро, тому дана робота присвячена вдосконаленню методів їхнього очищення та поліпшенню якості води, що скидається на подальшу обробку в системи централізованого водовідведення населених пунктів.

Для очищення стічних вод, що містять значну кількість завислих та органічних речовин, застосовують споруди первинної (механічної, фізико-хімічної, електрохімічної) та вторинної (біологічної) очищення [117]-[126].

Механічне очищення застосовують для вилучення зі стічних вод нерозчинних домішок. На даному етапі очищення використовують решітки, сита, пісковловлювачі, відстійники, жировловлювачі, різні фільтри [127].

Практично всі підприємства харчової промисловості мають цехові або дворові жировловлювачі первинного очищення стічних вод. У теперішній час застосовують жировловлювачі різних модифікацій. Тривалість обробки стоків становить від 15 до 30 хвилин. Вилучення жиропродуктів відбувається механічним і механізованим способами.

Однак, звичайні жировловлювачі, що встановлюються на підприємствах харчової промисловості, в багатьох випадках не забезпечують належного знежирювання через особливі умови розподілу жиру у вигляді тонких плівок на поверхні води. Ефективність їхнього очищення за вмістом жирових речовин, навіть при дотриманні необхідного часу відстоювання, складає приблизно 40-50% [128].

Із фізико-хімічних засобів очищення стічних вод від жировмісних речовин найчастіше застосовуються флотаційний, сорбційний, а також реагентний методи. Найбільше розповсюдження для очищення стоків харчової промисловості отримала напірна реагентна флотація. Даний метод заснований на утворенні перенасиченого розчину газу в напірній ємності під тиском і подальшому виділенні найдрібніших бульбашок у відкритих флотокамерах за рахунок перепаду тиску.

Для підвищення ефективності очищення жировмісних стічних вод перед флотацією застосовується реагентний метод. Найбільше застосування в якості коагулянтів отримали сульфат алюмінію, гідроксохлорид алюмінію та хлорид заліза (III). В дещо меншому масштабі використовуються сульфати заліза, змішані коагулянти у вигляді солей алюмінію та заліза.

Обробка стоків коагулянтами та флокулянтами полегшує вилучення завислих речовин і колоїдів шляхом їхнього концентрування у вигляді пластівців (флокул) з подальшим відділенням в системах відстоювання, флотації та/або фільтрації.

Незважаючи на переваги, всім реагентним методам властиві загальні недоліки, а саме: потреба в реагентах, низька ефективність при наявності декількох видів забруднення, чутливість до змін технології, складності в реалізації продукту очищення. Це призводить до накопичення жиромаси та, в кінцевому рахунку, до зупинки очисних споруд.

В теперішній час окрім фізичних і фізико-хімічних методів очищення жировмісних стічних вод широко застосовується біологічний метод, заснований на здатності мікроорганізмів (деструкторів жирових речовин) застосовувати розчинні та колоїдні органічні забруднення в якості джерела харчування в процесах своєї життєдіяльності.

Біологічне очищення стічних вод має ряд важливих переваг перед іншими методами. Мікроорганізми здійснюють повну деструкцію забруднення до газоподібних продуктів і води, забезпечуючи тим самим кругообіг елементів у довкіллі. Таким чином, при біологічному очищенні, на відміну від інших способів, не відбувається концентрації забруднень або їхнього переведення в іншу форму. В той же час біологічні методи найбільш економічні, оскільки за виключенням основних капіталовкладень майже не потребують витрат під час експлуатації споруд, а головний діючий компонент біологічного очищення – активний мул – самовідновлюється.

Однак, слід зазначити, що вибір методу очищення, типу очисних споруд та їхня ефективність залежать від об'єму стоків, концентрації забруднюючих речовин, нерівномірності витрат, вимог до якості води, що очищується, наявності та складу міських або районних очисних споруд, а також від місцевих

умов з урахуванням можливого використання очищеної води для промислових потреб.

Технологічна схема водовідведення та очищення стічних вод, що приймається на підприємстві, повинна забезпечувати їхній мінімальний скид у водойми, максимальне використання очищеної води в системах повторного та оборотного водопостачання, а також, за можливості, повне вилучення та утилізацію корисних домішок.

Жирові та органічні забруднення, що потрапляють до систем централізованого водовідведення населених пунктів зі стічними водами, утворюють на внутрішній стінці труб відкладення, що порушує безперебійну та ефективну роботу каналізаційної мережі. Внаслідок цього знижується пропускна здатність труб, постійно виникають засмічення і жирові пробки, створюються аварійні ситуації, а очисні споруди каналізаційної мережі не можуть впоратися з очищенням. Крім того, жирові пробки, що утворюються, є сприятливим середовищем для розвитку гнильних мікроорганізмів, які є причиною неприємних запахів. Тому підприємства змушені здійснювати регулярне очищення виробничої каналізації. Саме тому, водоканали встановлюють жорсткі вимоги щодо якісного складу стічних вод, які скидаються до міської каналізаційної мережі від підприємств та організацій.

Метою даного дослідження є обґрунтування доцільності модернізації споруд з очищення жировмісних стічних вод на прикладі олійно-екстракційного комбінату ТОВ «Потоки» за рахунок встановлення аерованих жировловлювачів для зниження вмісту забруднюючих речовин до норм, що відповідають вимогам скиду стічних вод даних промислових об'єктів до міської каналізаційної мережі.

Застосування аерованих жировловлювачів дозволяє вилучати зі стічних вод не тільки жири рослинного та тваринного походження, але й завислі речовини та органічні сполуки, що є одними з пріоритетних забруднювачів для підприємств даної галузі народного господарства.

Рослинні олії виробляються з олійної сировини та вилучаються з неї методами пресування або екстрагування.

Використання води є одним із ключових питань охорони навколишнього середовища при виробництві продуктів харчування. На підприємствах олійно-екстракційної промисловості вода витрачається на зволоження олійної сировини, мокре шротовловлювання, охолодження закритої теплообмінної апаратури, вакуум-насоси, мийку обладнання та тари, брикетування лушпиння, підживлення оборотної системи, хімводоочищення. Крім того, вода витрачається на барометричні конденсатори, приготування розчинів, промивання олій, а також на лабораторні та господарсько-побутові потреби.

При виробництві рослинних олій процесами, що потребують значних об'ємів води, є отримання нерафінованої олії та рафінація рослинної олії. При виробництві нерафінованої олії з метою охолодження витрачається 0,2-12 м³ води/тонну олії. При проведенні нейтралізації негідратованої олії споживання води становить в середньому 1-1,5 м³ води/тонну нейтралізованої олії, при проведенні нейтралізації гідратованої олії – 0,6-1,0 м³ води/тонну

нейтралізованої олії. Споживання води при дезодорації нейтралізованої, вибіленої олії – 10-30 м³ води/тонну дезодорованої олії за відсутності зворотного водопостачання.

Споживання води у виробництві отримання олії методом пресування є мінімальним.

З ростом виробництва, технічної оснащеності підприємств і підвищенням санітарних вимог загальні витрати води зростають. Відповідно збільшується й скид стічних вод. На режим утворення (надходження) стічних вод, їхній склад і кількість впливають:

- вид сировини, що переробляється;
- технологічний процес виробництва;
- кількість води, що споживається;
- місцеві умови тощо.

На підприємствах з переробки олійних культур здійснюється велика кількість технологічних операцій, внаслідок чого утворюються різні види забруднень. Стічні води утворюються від водовідокремлювачів та шламовипаровувачів екстракційного відділення, від цехових жировловлювачів, відділень гідратації, рафінації та розфасування олії. В олійно-пресовому цеху стічні води утворюються від очищення пресової та екстракційної олії на сепараторах. Також стічні води утворюються від конденсації водяної пари в конденсаторах і дефлегматорах.

Загальні витрати стічних вод коливаються в діапазоні від 15-20 до 4000 м³ на добу. Об'єм стічних вод залежить від виду джерела отримання олії та технології, що застосовується. В процесах отримання та рафінації харчової олії можливо утворення стічних вод до 1,5 м³ води на 1 тону олії.

В залежності від виду, методу та умов переробки жирової сировини та технологічних операцій в стічних водах можуть опинитися різні види жирових речовин. Стічні води олійно-екстракційного виробництва містять у собі жирні кислоти, а також, гліцериди, бензин, шрот, фосфатиди, мила, луги та інші супутні речовини.

Стоки підприємств з рафінування рослинних жирів для виробництва харчової олії складаються, в основному, з емульсій забруднених жирів, стабілізованого мила, отриманого з жирів і жирних кислот. Крім цього, в стічних водах присутні органічні кислоти та азотовмісні речовини, які після нейтралізації загнивають, утворюючи з білків, що розкладаються, і сульфатів, що відновлюються, сірководень.

Запах стічних вод неприємний, окислюваність невисока (49-354 мгО₂/дм³). Жир найчастіше присутній у вигляді рослинних олій, невеликі кількості яких покривають дзеркало води, ускладнюючи реаерацію і розчинення кисню. Якісний склад і концентрація забруднюючих речовин, що містяться в стічних водах олійно-екстракційного комбінату ТОВ «Потоки», наведено в табл. 3.24.

Як видно з табл. 3.24, небезпечними забруднюючими речовинами стічних вод олійно-екстракційного комбінату ТОВ «Потоки» є показники біологічного та хімічного споживання кисню (БСК₅ і ХСК) та вміст великої кількості жирів і завислих речовин. Ці показники в кілька разів перевищують концентрації

забруднень міських стоків. Потрапляючи у водойму без очищення, органічні речовини споживають для свого окислення велику кількість кисню, внаслідок чого різко погіршуються умови розвитку флори та фауни водойм. Тому стічні води підприємств харчової промисловості повинні очищатися на території підприємства.

Таблиця 3.24 – Якісний склад та концентрація забруднюючих речовин у стічних водах олійно-екстракційного комбінату ТОВ «Потоки»

Показники	Одиниця виміру	Фактичне значення
pH	-	7-8,5
Завислі речовини	мг/л	200
Жири	мг/л	500
Нафтопродукти	мг/л	30
Біологічне споживання кисню (БСК ₅)	мгО ₂ /л	1500
Хімічне споживання кисню (ХСК)	мгО ₂ /л	3000
Поверхнево-активні речовини (ПАР)	мг/л	2
Хлориди	мг/л	170
Сульфати	мг/л	250
Біогенні елементи:		
- фосфати	мг/л	5
- азот амонійний	мг/л	10

Всі очисні споруди харчової галузі виробництва класифікують в залежності від місця розташування та методу, що використовується. За місцем розташування очисні споруди класифікують на локальні (цехові), загальні (заводські) та районні або міські. Локальні (цехові) очисні споруди призначені для обробки стічних вод відразу після технологічних установок, окремих ділянок і цехів.

Установки локального очищення входять в технологічні лінії виробництва. Заводські очисні споруди є загальними для забруднених стічних вод різних цехів підприємства. Після них доочищення стічних вод проводять на міських або районних очисних спорудах.

До систем централізованого водовідведення населених пунктів приймаються стічні води, які не призводять до порушення каналізаційних мереж і очисних споруд. При цьому, стічні води не повинні:

- містити речовин, які здатні захарашувати труби, колодязі, решітки або відкладатися на їхніх поверхнях;

- мати значення показника біологічного споживання кисню, яке перевищує вказане в проєкті каналізаційних очисних споруд відповідного населеного пункту;

- містити забруднюючі речовини концентрації яких перевищують гранично допустимі, що встановлюються місцевими правилами приймання та скиду стічних вод до міської каналізаційної мережі з урахуванням [128].

Для підприємств, що скидають після локального очищення стічні води до систем централізованого водовідведення населених пунктів, водоканали встановлюють гранично допустимі концентрації (ГДК) забруднюючих речовин, усереднені значення яких наведено в табл. 3.25 [129]. За перевищення норм скиду на підприємства накладаються штрафи.

Таблиця 3.25 – Усереднені значення допустимих концентрацій забруднюючих речовин у стічних водах, що надходять до систем централізованого водовідведення населених пунктів

Показники	Одиниця виміру	Значення
Завислі речовини	мг/л	200-300
Жири	мг/л	20-50
Хлориди	мг/л	до 350
Сульфати	мг/л	до 400
Поверхнево-активні речовини (ПАР)	мг/л	2,5-9
Біологічне споживання кисню (БСК ₅)	мгО ₂ /л	200-350
Хімічне споживання кисню (ХСК)	мгО ₂ /л	300-500
Нафтопродукти	мг/л	1,5-5,0
Біогенні елементи:		
- фосфати	мг/л	3,5-6
- азот амонійний	мг/л	8-17
pH	-	6,5-9,0

На олійно-екстракційному комбінаті ТОВ «Потоки» в якості локальних очисних споруд застосовуються звичайні жироловлівачі, відстоювання в яких не дозволяє знизити концентрації жирів до встановлених норм, оскільки ефективність їхнього очищення за вмістом жирових речовин не перевищує 50%. Тобто остаточна концентрація жирів після очищення складає 200-250 мг/л. Саме тому виникає необхідність у модернізації існуючих очисних споруд для зниження вмісту забруднюючих речовин до нормативних значень.

Для підприємств олійно-екстракційної промисловості з точки зору найкращих доступних технологій щодо зниження вмісту жирів у виробничих стічних водах можна виділити два основних напрямки. Перший, пов'язаний з вдосконаленням існуючих технологічних процесів шляхом впровадження окремих видів обладнання, які, при достатньо високому виході готового продукту, дозволяють скоротити емісії в навколишнє природне середовище та споживання різних видів енергії. Другий напрямок, пов'язаний з впровадженням технологій, що повністю виключають найбільш небезпечні з точки зору викидів і скидів процеси.

Складність вирішення проблеми очищення виробничих стічних вод обумовлена варіабельністю їхнього складу, різноманіттям фізико-хімічних процесів, що лежать в основі їхнього очищення, великими капітальними та експлуатаційними витратами на спорудження та обслуговування очисних комплексів і окремих установок.

До системи централізованого водовідведення міста можуть прийматися виробничі стічні води, які не порушують роботу каналізаційних мереж та споруд, забезпечують безпеку їхньої експлуатації та можуть бути знешкоджені разом з комунально-побутовими водами населеного пункту відповідно до вимог і нормативів. Ці вимоги диктують необхідність розробки нових схем очищення, інтенсифікації роботи існуючих очисних споруд. Остання може бути забезпечена як шляхом вдосконалення існуючих конструкцій, так і додатковим впровадженням в схему очищення нових ефективних вузлів [130], що забезпечують необхідний ступінь очищення стічної води від певної забруднюючої речовини.

Для підвищення ефективності роботи очисних споруд міської каналізаційної мережі запропоновано, на прикладі олійно-екстракційного комбінату ТОВ «Потоки», модернізувати існуючу очисну споруду з очищення жировмісних стічних вод (звичайний жировловлювач). А саме встановити аерований жировловлювач.

Аеровані жировловлювачі являють собою установки непрямої флотації, які ефективно очищують стічні води від мастильно-охолоджуючих рідин після мийки деталей та агрегатів, демонструють високий ступінь очищення стоків від рослинних і тваринних жирів, олій, різних нафтопродуктів, поверхнево-активних речовин (ПАР) і синтетичних ПАР та інших нерозчинних забруднювачів, питома вага яких є меншою за питому вагу води. Установки також призначені для очищення стічних вод від піску, завислих речовин, смол, заліза.

Дана установка може застосовуватися для очищення стічних вод нафтобаз, нафтопереробних заводів, підприємств масложирового виробництва, м'ясокомбінатів, рибних і молочних заводів тощо.

Загальну схему очисної споруди з аерованим жировловлювачем наведено на рис. 3.13.

Перевагами аерованих жировловлювачів є те, що вони забезпечують найвищий рівень очищення серед альтернативних варіантів, економічні. Також в них значний термін служби, відсутність неприємних запахів. Крім того, установка не потребує частого очищення.

Пластини, що розділяють камери установки, мають суцільну перфорацію і можуть від'єднуватися для очищення за потребою.

Камера, з якої відбувається скид очищеної води, відокремлена від інших відсіків глухою перегородкою. Відведення проводиться з нижнього рівня, де знаходиться найчистіша вода.

Аеровані жировловлювачі застосовують повітря для інтенсифікації процесу видалення легких речовин із забрудненої ними стічної води. Повітря, проходячи крізь шар стічних вод, захоплює частинки жиру та виносить їх на поверхню. Насичення киснем стоків також сприяє аеробному окисленню органічних речовин.

В цій конструкції додатково застосовується флотація. Завдяки цьому зі стічної води виділяють поверхнево-активні речовини, жири, нафтопродукти, смоли тощо.

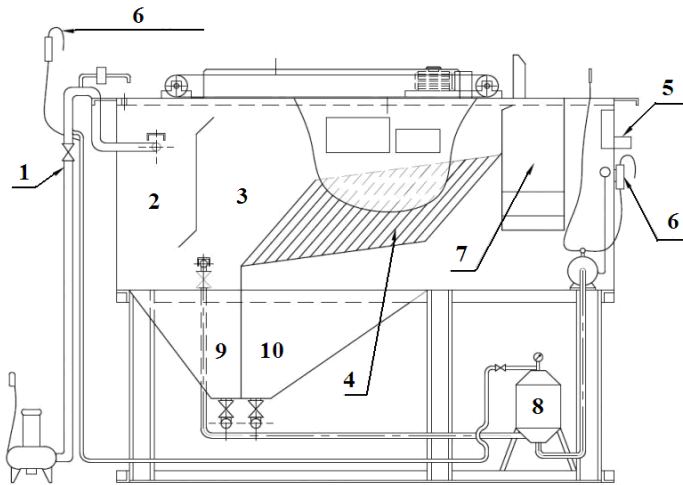


Рис. 3.13 – Загальна схема очисної споруди з аерованим жировловлювачем:

1 – подача жировмісних стічних вод; 2 – камера попередньої флотації та відстоювання; 3 – флотаційна камера; 4 – тонкошаровий блок; 5 – відведення очищеної води; 6 – точки вводу реагенту; 7 – шламовий лоток; 8 – сатуратор; 9 – первинний відстійник; 10 – вторинний відстійник)

Найбільш високі результати з очищення стічних вод, що містять жири та інші органічні забруднювачі, в аерованих жировловлювачах були досягнуті при додатковому використанні коагулянтів, а саме хлорного заліза ($FeCl_3$) та сірчанокислового алюмінію ($Al_2(SO_4)_3$). Застосування хлорного заліза в дозах 300 мг/дм^3 з подальшим осадженням впродовж 30 хвилин дозволяє отримати на виході з аерованого жировловлювача прозору рідину.

Слід зазначити, що подача стічних вод до аерованого жировловлювача і безпосередньо на флотацію здійснюються різними насосами (подача стоків може здійснюватися самопливом). Таке рішення дозволяє підвищити допустиму концентрацію забруднюючих речовин на вході в установку. При цьому знижується ризик виходу насосів із ладу. Для подачі стоків обирається фекальний насос, розрахований на високі концентрації забруднюючих речовин, а для здійснення процесу флотації – насос, що забезпечує добре перемішування кисню з водою. Стійкість флотаційного насоса до забруднень відходить на другий план тому, що він працює в камері з очищеною водою. Таким чином, непряма флотація дозволяє уникнути надмірного перемішування, емульгації стоків на вході до аерованого жировловлювача та підвищити якість водно-повітряної суміші на окремому флотаційному насосі.

Все це призводить до підвищення ефективності очищення стічних вод, у порівнянні з існуючими на підприємствах олійно-екстракційної промисловості очисними спорудами. Величини допустимої концентрації забруднюючих

речовин у стічних водах, що надходять до запропонованої очисної споруди, та ефективність їхнього очищення наведено в табл. 3.26.

Таблиця 3.26 – Значення допустимих концентрацій забруднюючих речовин у стічних водах, що надходять до запропонованої очисної споруди, та ефективність їхнього очищення

Показник	Допустима концентрація забруднюючої речовини на вході в установку, мг/л	Ефективність очищення не менш, %
Завислі речовини	7500	95
Нафтопродукти	9500	97
Жири	9000	98
Залізо	50	90
Біологічне споживання кисню (БСК ₅)	не регламентується	85
Хімічне споживання кисню (ХСК)	не регламентується	85
Поверхнево-активні речовини (ПАР)	50	35
рН	для нержавіючої сталі	3-12
	для чорного металу	6-9

Як видно з табл. 3.26, ефективність очищення виробничих стічних вод, що містять у своєму складі жири, після аерованих жировловлювачів складатиме близька 98%. Крім того, в стічних водах після очищення в аерованому жировловлювачі знижується вміст завислих та органічних (показники БСК₅ і ХСК) речовин (ефективність їхнього очищення становить приблизно 95% та 85%, відповідно).

Таким чином, враховуючи якісно-кількісний склад стічних вод олійно-екстракційного комбінату ТОВ «Потоки» (табл. 3.24), та ефективність їхнього очищення в аерованому жировловлювачі (табл. 3.26), можна розрахувати орієнтовні значення концентрацій забруднюючих речовин після модернізації очисної споруди, величини яких наведено в табл. 3.27.

Виходячи з даних табл. 3.27, можна зробити висновок, що вміст забруднюючих речовин, які містяться в стічних водах після їхнього очищення за запропованою технологією в аерованих жировловлювачах із застосуванням коагулянтів не перевищує величин гранично допустимих концентрацій, встановлених водоканалами (табл. 3.25).

Тільки після ретельної попередньої обробки стічні води олійно-екстракційного комбінату ТОВ «Потоки» надходять на міські комунальні очисні споруди для подальшого біологічного очищення.

Таблиця 3.27 – Концентрації забруднюючих речовин після очищення стічних вод олійно-екстракційного комбінату ТОВ «Потоки» в аерованому жировловлювачі

Показники	Одиниця виміру	Концентрація забруднюючої речовини після очищення в аерованому жировловлювачі не більше
Завислі речовини	мг/л	10
Жири	мг/л	10
Поверхнево-активні речовини (ПАР)	мг/л	1,3
Біологічне споживання кисню (БСК ₅)	мгО ₂ /л	225
Хімічне споживання кисню (ХСК)	мгО ₂ /л	450
Нафтопродукти	мг/л	0,9

Таким чином, вирішене актуальне практичне завдання, що полягає в модернізації споруд з очищення жировмісних стічних вод на прикладі олійно-екстракційного комбінату ТОВ «Потоки» за рахунок встановлення аерованих жировловлювачів для зниження вмісту жирів до величин гранично допустимої концентрації, що встановлюється водоканалами з метою подальшої обробки стічних вод в системах централізованого водовідведення населених пунктів.

Запропонована очисна споруда виконує три функції: вилучення розчинених у воді жирів і відкладень, що знаходяться в завислому стані; зменшення кількості органічних забруднень і донних відкладень; усунення гнильних запахів. Ці функції є оптимальним набором, що дозволяє отримати максимальний ефект при мінімальному обслуговуванні.

Установки непрямої флотації, до яких відноситься й запропонований аерований жировловлювач, добре зарекомендували себе в якості попереднього ступеня перед біологічним очищенням. Крім вилучення значної частини забруднень, стічні води насичуються розчинним киснем, внаслідок чого посилюються окислювальні процеси в аеротенках і біологічних фільтрах при подальшому біологічному очищенні стоків на станціях міської каналізаційної мережі.

Встановлення на олійно-екстракційному комбінаті ТОВ «Потоки» запропонованої очисної споруди дозволяє значно знизити вміст жирів до 10 мг/дм³, що відповідає нормам скиду стічних вод даних підприємств до систем централізованого водовідведення населених пунктів. Крім того, в стічних водах після очищення за запропонованою технологією знижується вміст завислих речовин та органічних забруднень. В свою чергу, це дозволить запобігти утворенню жирових відкладень на стінках труб, забезпечуючи безперебійну та ефективну роботу каналізаційної мережі та очисних споруд на станціях біологічного очищення комунально-побутових стоків міста [131].

Перелік літературних джерел до розділу 3

1. Loyeh, E. N., Mohsenpour, R. (2020). Investigation of oil pollution on aquatic animals and methods of its prevention. *Journal of Aquaculture & Marine Biology*, 9 (5), 160-165. DOI: [10.15406/jamb.2020.09.00291](https://doi.org/10.15406/jamb.2020.09.00291).
2. Yang, Sh., Xing, K., Yang, Y. (2021). Offshore Oil Pollution and Prevention Measures. *E3S Web of Conferences*, 271, 02010. doi.org/10.1051/e3sconf/202127102010.
3. Ekpo, I. E., Obot, O. I., David, G. S. (2018). Impact of oil spill on living aquatic resources of the Niger Delta region: A review. *Journal of Wetlands and Waste Management*, 2 (1), 48-57.
4. Carpenter, A. (2019). Oil pollution in the North Sea: the impact of governance measures on oil pollution over several decades. *Hydrobiologia*, 845, 109-127.
5. Langangen, O., Olsen, E., Stige, L. C., Ohlberger, J., Yaragina, N. A., Vikebo, F. B. (2017). The effects of oil spills on marine fish: Implications of spatial variation in natural mortality. *Marine Pollution Bulletin*, 119 (1), 102-109. doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.03.037.
6. Chilvers, B. L., Morgan, K. J., White, B. J. (2021). Sources and reporting of oil spills and impacts on wildlife 1970-2018. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 754-762.
7. Lusweti, E., Kanda, E.K., Obando, J., Makokha, M. (2022). Effects of oil exploration on surface water quality-A review. *Water Practice and Technology*, 17, 2171-2185.
8. Adzighli, L., Yuewen, D. (2018). Assessing the Impact of Oil Spills on Marine Organisms. *Journal of Oceanography and Marine Research*, 6, 179. [doi: 10.4172/2572-3103.1000179](https://doi.org/10.4172/2572-3103.1000179).
9. Kurylenko, V., Izosimova, O. (2016). Study of the impact of petroleum hydrocarbons on sea organisms. *Journal of Ecological Engineering*, 17, 26-29.
10. Gorbatiuk, L. O. (2020). Toxic impact of oil pollution on fish organism in freshwater and marine ecosystems (a review). *Hydrobiological Journal*, 56 (6), 83-93. DOI: 10.1615/HydrobJ.v56.i6.70.
11. Ayman, Y. I. Ewida. (2014). Oil spills: impact on water quality and microbial community on the Nile river, Egypt. *International Journal of Environment*, 3 (4), 192-198.
12. Kovrov, O., Kulikova, D., Pavlychenko, A. (2023). Statistical analysis of Samara River pollution impact on the population morbidity rate in Western Donbas (Ukraine). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1156 (1), 012025.
13. Aljuboury, D. A. D. A., Palaniandy, P., Abdul Aziz, H. B., Feroz, S. (2017). Treatment of petroleum wastewater by conventional and new technologies – A review. *Global NEST Journal*, 19 (3), 439-452.
14. Putatunda, S., Bhattacharya, S., Sen, D., Bhattacharjee, C. (2019). A review on the application of different treatment processes for emulsified oily wastewater. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16 (5), 2525-2536.
15. Yu, L., Han, M., He, F. (2017). A review of treating oily wastewater Arabian. *Journal of Chemistry*, 10, 1913-1922.
16. Hajiyeva, S. R., Gadirova, E. M. (2014). Methods for cleaning water contaminated with oil. *Azerbaijan Chemistry Journal*, 1, 35-38. <https://doi.org/10.32737/0005-2531>.
17. Shixaliyev, K. S. (2022). Ecological problems of transportation of oil and oil products and methods of cleaning the water surface World Wide. *Journal of Multidisciplinary Research and Development*, 8 (11), 125-128.

18. Rangabhashiyam, S., Lins, P. V., Oliveira, L. M., Sepulveda, P., Ighalo, J. O., Rajapaksha, A. U., Meili, L. (2022). Sewage sludgederived biochar for the adsorptive removal of wastewater pollutants: A critical review. *Environmental Pollution*, 293, 118581.
19. Medeiros, A. D. M., Silva Junior, C. J. G., Amorim, J. D. P., Durval, I. J. B., Costa, A. F., Sarubbo, L. A. (2022). Oily Wastewater Treatment: Methods, Challenges, and Trends. *Processes*, 10, 743. <https://doi.org/10.3390/pr10040743>.
20. Abuhasel, K., Kchaou, M., Alquraish, M., Munusamy, Y., Jeng, Y. T. (2021). Oily Wastewater Treatment: Overview of Conventional and Modern Methods, Challenges, and Future Opportunities. *Water*, 13, 980.
21. Adetunji, A. I., Olaniran, A. O. (2021). Treatment of industrial oily wastewater by advanced technologies: A review. *Applied Water Science*, 11, 98.
22. Liang, H., Esmaeili, H. (2021). Application of nanomaterials for demulsification of oily wastewater: A review study. *Environmental Technology & Innovation*, 22, 101498.
23. Pérez-Calderón, J., Santos, M. V., Zaritzky, N. (2018) Optimal clarification of emulsified oily wastewater using a surfactant/chitosan biopolymer. *Journal Environmental Chemical Engineering*, 6, 3808-3818.
24. Padaki, M., Surya Murali, R., Abdullah, M. S., Misdan, N., Moslehyani, A., Kassim, M. A., Hila, N., Ismail, A. F. (2015). Membrane technology enhancement in oil-water separation. A review. *Desalination*, 357, 197-207.
25. Brasileiro P P F, Silva R C F S, Santos V A, Sarubbo L A, Benachour M 2021 Efficiency of microbubble production using surfactants for the treatment of oily water by flotation *Chemical Engineering Research and Design*, 168, 254-263.
26. Zhao, C., Zhou, J., Yan, Y., Yang, L., Xing, G., Li, H., Wu, P., Wang, M., Zheng, H. (2021). Application of coagulation/flocculation in oily wastewater treatment: A review. *Science of the Total Environment*, 765, 142795.
27. Tanudjaja, H. J., Hejase, C. A., Tarabara, V. V., Fane, A. G., Chew, J. W. (2019). Membrane-based separation for oily wastewater: A practical perspective. *Water Research*, 156, 347-365.
28. Oliveira, L.M.T.M., Saleem, J., Bazargan, A., Duarte, J.L.D.S., Mckay, G., Meili, L. (2021). Sorption as a rapidly response for oil spill accidents: A material and mechanistic approach. *Journai of Hazardous Materials*, 407, 124842.
29. Tetteh, E. K., Rathilal, S., Robinson, K. (2017). Treatment of industrial mineral oil wastewater – effects of coagulant type and dosage. *Water Practice and Technology*, 12(1), 139-145. <https://doi.org/10.2166/wpt.2017.021>.
30. Petrushka, K. I., Malovanyy, M. S., Petrushka, I. M., Pohrebennyk, V. D., Mokryy, V. I. (2020). Introduction of innovative water treatment technologies – the key to sustainable development of the modern city. *IOP Conference Series : Materials Science and Engineering*, 907 (1), 012069.
31. Prokhorova, N., Dorokhin, S., Prokhorov, D. (2016). The wastewater system of the enterprises of motor transport. *Alternative Energy Sources in the Transport-technological Complex Problems and Prospects of Rational Use*, 3 (1), 215-218.
32. Правила охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами : постанова Кабінету Міністрів України від 25.03.1999. № 465. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/465-99-%D0%BF#Text> (дата звернення 01.01.2025).
33. ДБН В.2.5-75:2013 «Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проєктування». Київ : Мінрегіон України, 2013. 219 с.

34. Державні санітарні норми та правила «Допустимі дози, концентрації, кількості та рівні вмісту пестицидів у сільськогосподарській сировині, харчових продуктах, повітрі робочої зони, атмосферному повітрі, воді водоймищ, ґрунті» (ДСанПіН 8.8.1.2.3.4-000-2001) : постанова Головного державного санітарного лікаря України від 20.09.2001. № 137. 376 с.

35. Dremicheva, E. S., Shamsutdinov, E. V. (2018). Intensification of sedimentation treatment of wastewater from oil products. *Water and Ecology*, 1, 3-8.

36. Kovrov, O., Kulikova, D. (2022). Improvement of the mine water purification efficiency via modified settling tank. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 23 (1), 65-75.

37. Pavlychenko, A., Kulikova, D., Borysovska, O. (2022). Substantiation of technological solutions for the protection of water resources in the development of coal deposits. *IOP Conference Series : Earth and Environmental Science*, 970, 012038. doi: 10.1088/1755-1315/970/1/01.

38. Kolesnyk, V. Y., Kulikova, D. V. (2013). Justification of quantity of perforated partitions and intervals of their placement in improved sedimentation tank for mine water. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 4, 81-89.

39. Kolesnyk, V. Y., Kulikova, D. V., Pavlychenko, A. V. (2016). Substantiation of rational parameters of perforated area of partitions in an improved mine water settling basin. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 6, 120-27.

40. Kolesnyk, V., Kulikova, D., Kovrov, S. (2013). In-stream settling tank for effective mine water clarification. *Mining of Mineral Deposits*, 285-90 DOI: 10.1201/b16354-52.

41. Horova, A. I., Kolesnyk, V. Y., Kulikova, D. V. (2012). Physical modeling of precipitation process of the suspended materials in physical model of sedimentation tank for mine water treatment. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 3, 92-98.

42. Kolesnyk, V. Y., Kulikova, D. V. (2014). Mine water treatment efficiency raising in the improved sedimentation tank through application of a coagulant. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2, 105-111.

43. Kovrov, O., Kulikova, D. (2024). Development of the oil-contaminated wastewater treatment technology for trucking companies. *IOP Conference Series : Earth and Environmental Science*, 1348 (1), 012023. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1348/1/012023>.

44. Gomelya, M. D., Trus, I. M., Radovenchuk, I. V. (2014). Influence of stabilizing water treatment on weak acid cation exchange resin in acidic form on quality of mine water nanofiltration desalination. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 5, 100-105.

45. Adamenko, Y. O., Arkhypova, L. M., Mandryk, O. M. (2016). Territorial standard quality hydroecosystem protected areas. *Hydrobiological Journal*, 6 (52), 51-59.

46. Kirin, R. (2019). Statutory and regulatory requirements in the process of mineral mining in Ukraine. Review and analysis. *Mining of Mineral Deposits*, 13 (2), 59-65. <https://doi.org/10.33271/mining13.02.059>.

47. Melnyk, L., Bessarab, O., Matko, S., Malovanyy, M. (2015). Adsorption of Heavy Metals Ions from Liquid Media by Palygorskite. *Chemistry and Chemical Technology*, 9 (4), 467-470. DOI: 10.23939/chcht09.04.467.

48. Bulat, A., Voloshyn, O., Zhevzhik, O. (2013). Plasma reactor for thermochemical preparation of coal-air mixture before its burning in the furnaces. *Mining of Mineral Deposits*, 39-44. <https://doi.org/10.1201/b16354-9>.

49. Voloshyn, O., Potapchuk, I., Zhevzyk, O., Semenenko, Y., Tatarko, L. (2018). Study of the plasma flow interaction with the borehole surface in the process of its thermal reaming. *Mining of Mineral Deposits*, 12 (3), 28-35.
50. Prokopenko, V. I., Litvinov, Y. I. (2017). Environmental orientable imperative of developing the technology and excavation of horizontal fields. *Naukovyy visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2, 51-57.
51. Gumenik, I. L., Lozhnikov, O. V., Panasenko, A. I. (2013). Deliberate dumping technology for mining reclamation effectiveness improvement. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 5, 48-53.
52. Ryabchii, V. A., Ryabchii, V. V., Trehub, M. V., Trehub, Y. Y. (2017). Substantiation of land parcel configuration in buffer zones. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 4, 80-85. DOI: 10.29202/nvngu.
53. Mormul, T. M., Terekhov, Y. V. (2017). Environmental and economic estimation of technological solutions in terms of land resource conservation in the process of open-cast mining. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 3, 122-28.
54. Terekhov, Y. V., Litvinov, Y. I. (2018). Eco-oriented management of manufacturing and supply activity of manganese ore raw materials supplier. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 4, 166-74. DOI: 10.29202/nvngu/2018-4/20.
55. Vabuolytè, V., Burinskienè, M., Sousa, S., Petrakovska, O., Trehub, M., Tiboni, M. (2021). Increase in the value added of land due to the establishment of industrial parks. *Sustainability (Switzerland)*, 13 (15), 8541. DOI: 10.3390/su13158541.
56. Yurchenko, A., Litvinenko, A., Morozova, T. (2015). Study of dust cloud spraying parameters in terms of its suppression. *New Developments in Mining Engineering 2015: Theoretical and Practical Solutions of Mineral Resources Mining*, 71-74.
57. Kharytonov, M., Benschel, A., Kryvakovska, R., Klimkina, I., Vasylyeva T. (2017). Risk assessment of aerotechnogenic pollution generated by industrial enterprises in Algeria and Ukraine. *Studia Universitatis Vasile Goldis Arad, Seria Stiintele Vietii*, 27 (2), 99-104.
58. Vambol, S., Vambol, V., Bohdanov, I., Suchikova, Y., Rashkevich, N. (2017). Research of the influence of decomposition of wastes of polymers with nano-inclusions on the atmosphere. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6, 10 (90), 57-64. doi: 10.15587/1729-4061.2017.118213.
59. Kolesnyk, V., Pavlychenko, A., Borysovska, O., Buchavyy, Yu., Kulikova, D. (2020). Justification of the method of dust emissions localization on mobile crushing and sorting complexes of quarries with the use of air-and-water ejectors. *E3S Web Conf. Volume*, 168, 2020.
60. Lozynskyi, V., Saik, P., Petlovanyi, M., Sai, K., Malanchyk, Y. (2018). Analytical Research of the Stress-Deformed State in the Rock Massif Around Faulting. *International Journal of Engineering Research in Africa*, 35, 77-88. DOI: 0.4028/www.scientific.net/JERA.35.77.
61. Voloshyn, O., Potapchuk, I., Zhevzyk, O., Zhovtonoha, M. (2018) Results of the experimental research of the heat-transfer jet pressure to the rock surface during thermal reaming of the borehole. *E3S Web Conf.*, 60, 00024. DOI: 10.1051/e3sconf/20186000024.
62. Cherniaiev, O. V. (2017). Systematization of the hard rock non-metallic mineral deposits for improvement of their mining technologies. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 5, 11-17.

63. Khomenko, O. Y. (2012). Implementation of energy method in study of zonal disintegration of rocks. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 4, 44-54. DOI: 10.29202/nvngu.
64. Rakishev, B. R., Seituly, K., Kovrov, O. S. (2015) Physical modeling geomechanical stability of open-cast slopes and internal overburden dumps. *Legislation, Technology and Practice of Mine Land Reclamation - Proceedings of the Beijing International Symposium Land Reclamation and Ecological Restoration, LRRER 2014*, 583-88.
65. Gumenik, I., Lozhnikov, A., Maevskiy, A. (2012). Methodological principles of negative opencast mining influence increasing due to steady development. *Geomechanical Processes during Underground Mining: School of Underground Mining*, 45-49.
66. Kalybekov, T., Rysbekov, K., Zhakypbek, Y. (2015). Efficient land use in open-cut mining. *New Developments in Mining Engineering 2015: Theoretical and Practical Solutions of Mineral Resources Mining*, 287-91.
67. Gumenik, I., Lozhnikov, O. (2015). Current condition of damaged lands by surface mining in Ukraine and its influence on environment. *New Developments in Mining Engineering 2015: Theoretical and Practical Solutions of Mineral Resources Mining*, 139-43.
68. Zadorozhnaya, G. A., Andrusyevych, K. V., Zhukov, O. V. (2018). Soil heterogeneity after recultivation: ecological aspect. *Folia Oecologica*, 45, 46-52. DOI: 10.2478/foecol-2018-0005.
69. Harytonov, M. M., Stankevich, S. A., Titarenko, O. V., Doležalová Weissmannová, H., Klimkina, I. I., Frolova, L. A. (2020). Geostatistical and geospatial assessment of soil pollution with heavy metals in Pavlograd city (Ukraine). *Ecological Questions*, 31 (2), 47-61. DOI: 10.12775/EQ.2020.013.
70. Klimkina, I., Kharytonov, M., Zhukov, O. (2018). Trend analysis of water-soluble salts vertical migration in technogenic edaphotops of reclaimed mine dumps in Western Donbass (Ukraine). *Environmental Research, Engineering and Management*, 74 (2), 82-93. DOI: 10.5755/j01.erem.74.2.19940.
71. Modoi, O. C., Roba, C., Török, Z., Ozunu, A. (2014). Environmental risks due to heavy metal pollution of water resulted from mining wastes in NW Romania. *Environmental Engineering and Management Journal*, 13 (9), 2325-36.
72. Kvaterniuk, S., Pohrebennyk, V., Petruk, V., Kvaterniuk, O., Kochanek, A. (2018). Mathematical modeling of light scattering in natural water environments with phytoplankton particles. *18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*, 18 (2.1), 545-52. DOI: 10.5593/sgem2018/2.1.
73. Korchemlyuk, M., Arkhipova, L., Kravchynskiy, R., Mykhailyuk, J. (2019). Anthropogenic influence from point and diffuse sources of pollution in the upper Prut River basin. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 1, 125-31.
74. Adamenko, Y. S., Arkhylova, L. M., Mandryk, O. M. (2017). Territorial Normative of Quality of Hydroecosystems of Protected Territories. *Hydrobiological Journal*, 53 (2), 50-58. DOI: 10.1615/HydrobJ.v53.i2.50.
75. Bazaluk, O., Sadovenko, I., Zahrytsenko, A., Lozynskiy, V., Saik, P., Dychkovskiy, R. (2021). Forecasting underground water dynamics within the technogenic environment of a mine field: Case study. *Sustainability (Switzerland)*, 13 (13), 7161. DOI: 10.3390/su13137161.

76. Zelenko, Y., Malovanyy, M., Tarasova, L. (2019). Optimization of heat-and-power plants water purification. *Chemistry and Chemical Technology*, 13 (2), 218-223. <https://doi.org/10.23939/chcht13.02.218>.

77. Sobko, B., Haidin, A., Lozhnikov, O., Jarosz, J. (2019). Method for calculating the groundwater inflow into pit when mining the placer deposits by dredger. *E3S Web of Conferences*, 123, 01025. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912301025>.

78. Kuz'menko, O., Petlyovanyy, M., Stupnik, M. (2013). The influence of fine particles of binding materials on the strength properties of hardening backfill. *Annual Scientific-Technical Collection Mining of Mineral Deposits*, 45-48. DOI: 10.1201/b16354-10.

79. Pactwa, K., Woźniak, J. (2017). Environmental reporting policy of the mining industry leaders in Poland. *Resources Policy*, 53 (C), 201-207. DOI: 10.1016/j.resourpol.2017.06.008.

80. Gorova, A., Pavlychenko, A., Kulyna, S., Shkremetko, O. (2012). Ecological problems of post-industrial mining areas. *Geomechanical Processes During Underground Mining*, 35-40. <https://doi.org/10.1201/b13157-7>.

81. Dryzhenko, A., Shustov, A., Moldabayev, S. (2017). Justification of parameters of building inclined trenches using belt conveyors. *17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2017*, 471-478. DOI: 10.5593/sgem2017/13/S03.060.

82. Popovych, V., Kuzmenko, O., Voloshchysyn, A., Petlovanyi, M. (2018). Influence of man-made edaphotopes of the spoil heap on biota. *E3S Web of Conferences*, 60, 00010. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186000010>.

83. Petlovanyi, M., Kuzmenko, O., Lozynskiy, V., Popovych, V., Sai, K., Saik, P. (2019). Review of man-made mineral formations accumulation and prospects of their developing in mining industrial regions in Ukraine. *Mining of Mineral Deposits*, 13 (1), 24-38. <https://doi.org/10.33271/mining13.01.024>.

84. Статистичний збірник «Довкілля України за 2020 рік». Київ : Державна служба статистики, 2021. 189 с.

85. Шерстюк Н. П., Хільчевський В. К. Особливості гідрохімічних процесів у техногенних та природних водних об'єктах Кривбасу : монографія. Дніпропетровськ : ТОВ «Акцент ПП», 2012. 264 с.

86. Kovrov, O., Kulikova, D., Pavlychenko, A. (2023). Statistical analysis of Samara River pollution impact on the population morbidity rate in Western Donbas (Ukraine). *IOP Conference Series : Earth and Environmental Science*, 1156 (2023), 012025.

87. Державні санітарні норми та правила «Допустимі дози, концентрації, кількості та рівні вмісту пестицидів у сільськогосподарській сировині, харчових продуктах, повітрі робочої зони, атмосферному повітрі, воді водоймищ, ґрунті» (ДСанПіН 8.8.1.2.3.4-000-2001) : постанова Головного державного санітарного лікаря України від 20.09.2001. № 137. 376 с.

88. Kolesnyk, V. Y., Kulikova, D. V. (2013). Justification of quantity perforated partitions and intervals their placement in improved sedimentation tank of mine water. *Naukovi visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 4, 92-8.

89. Kovrov, O., Pavlychenko, A., Kulikova, D. (2024). Development of the wastewater treatment technology for the mine 'Ternivska' of the Kryvyi Rih iron ore plant. *Environmental Technology*, 1-14. <https://doi.org/10.1080/09593330.2024.2371080>.

90. Про затвердження Правил охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами : постанова КМУ від 25 березня 1999 р. № 465. Офіційний вісник України. 1999. № 13.

91. Kulikova, D. V., Pavlychenko, A. V. (2016). Estimation of ecological state of surface water bodies in coal mining regions as based on the complex of hydrochemical indicators. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 4, 62-70.

92. Gorova, A., Pavlychenko, A., Kulyna, S., Shkremetko, O. (2013). The investigation of coal mines influence on ecological state of surface water bodies. *Annual Scientific-Technical Colletion Mining of Mineral Deposits*. Leiden, The Netherlands: CRC Press / Balkema, pp. 303-305.

93. Виговська Д. Д., Виговський Д. Д., Пікульова Т. П. Технологічні особливості очищення шахтних вод. *Вісті Донецького гірничого університету*. № 1 (30) - 2 (31). 2012. С. 78-83.

94. Гулько С. Е., Гомаль И. И. Анализ состава и состояния гидротехнических сооружений угольных шахт. *Вісті Донецького гірничого університету*. № 1 (32). 2013. С. 78-84.

95. Кривошеков В. И., Чутчева А. Г. Проблема очищення шахтної води и направление ее решения. *Збагачення корисних копалин*. Вип. 55 (96). 2013. <http://zzkk.nmu.org.ua/pdf/2013-55-96/11.pdf>.

96. Kulikova D. V., Kovrov O. S. Improvement of mine water treatment technological scheme by implementing rapid sand filters. *Екологічні науки*. 2020. № 4 (31), С. 107-111. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.4-31.16>.

97. Kulikova, D. V., Pavlychenko, A. V. (2016). Estimation of ecological state of surface water ponds in coal mining regions as based on the complex of hydrochemical indicators. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 4, 62-70.

98. Кулікова Д. В. Визначення рівня екологічної безпеки поверхневих водойм вугледобувного регіону за комплексом гідрохімічних показників якості води. *Екологічна безпека та природокористування*. 2016. № 3-4. С. 70-80.

99. Kulikova, D. V., Kovrov, O. S., Buchavy, Yu. V., Fedotov, V. V. (2018). GIS-based Assessment of the Assimilative Capacity of Rivers in Dnipropetrovsk Region. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 27 (2), 274-285. doi: 10.15421/111851.

100. Kobyа, M., Erdem, N., Demirbas, E. (2014). Treatment of Cr, Ni and Zn from galvanic rinsing wastewater by electrocoagulation process using iron electrodes. *Desalination and Water Treatment*, 56 (5), 1191-1201. DOI: 10.1080/19443994.2014.951692.

101. Большанина С. Б., Гурець Г. М., Балабуха Д. С., Міляєва Д. В. Очищення стічних вод гальванічних виробництв сорбційними методами. *Екологічна безпека*. 2014. Вип. 1. С. 114-118.

102. Sawalha, H., Al-Jabari, M., Tamimi, I., Shahin, M., Tamimi, Z. (2016). Characterization and Treatment of Wastewater from Galvanization Industry in Palestine. *International Journal of Environment & Water*, 5 (3), 37-44.

103. Latha, A. (2017). Treatment of Galvanized Waste Water by Membrane Distillation with Natural Adsorbent: A Review. *International Journal of Emerging Trends & Technology in Computer Science*, 04 (03), 4988-4993. DOI: 10.18535/ijetst/v4i3.01.

104. Makisha, N., Yunchina, M. (2017). Methods and solutions for galvanic waste water treatment. *MATEC Web of Conferences*, 106, 07016. DOI: 10.1051/mateconf/201710607016.

105. Al-Qodah, Z., Al-Shannag, M. (2017). Heavy metal ions removal from wastewater using electrocoagulation processes: A comprehensive review. *Separation Science and Technology*, 52 (2010). DOI: 10.1080/01496395.2017.1373677.

106. Sezgin, N., Balkaya, N. (2017). Removal of heavy metal ions from electroplating wastewater. *Desalination and Water Treatment*, 93, 257-266. DOI: 10.5004/dwt.2017.21493.

107. Василенко О. А., Василенко Л. О. Гальванокоагуляція як універсальний метод очищення стічних вод від іонів важких металів. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки*. 2017. Вип. 28. С. 48-52.

108. Мовчан С. І., Болтянський О. В., Болтянська Н. І. Щодо питання очищення і знешкодження стічних вод гальванічного виробництва електрофлотокоагуляційною установкою. *Праці Таверійського державного агротехнологічного університету. Технічні науки*. 2017. Вип. 17. Т. 3. С. 91-98.

109. Witt, K., Radzaminska-Lenarcik, E. (2018). The recovery and the separation of metal ions from galvanic wastewaters. *Desalination and Water Treatment*, 128, 148-154. DOI: 10.5004/dwt.2018.22629.

110. Трус І. М., Гомеля М. Д., Мельниченко Є. В., Мігранова В. О. Очищення води від іонів важких металів відстоюванням, нанofільтруванням та флотацією. *Технічні науки та технології*. 2019. №1 (15). С. 204-213.

111. Петрушка І. М., Петрушка К. І. Очищення стічних вод від іонів нікелю. *Collection of scientific papers Л'ОГОС. Public communication in science: philosophical, cultural, political, economic and IT-context*. 2020. Vol. 2. pp. 83-85.

112. Державні санітарні норми та правила «Допустимі дози, концентрації, кількості та рівні вмісту пестицидів у сільськогосподарській сировині, харчових продуктах, повітрі робочої зони, атмосферному повітрі, воді водоймищ, ґрунті» (ДСанПІН 8.8.1.2.3.4-000-2001) : постанова Головного державного санітарного лікаря України від 20.09.2001. № 137. 376 с.

113. Яцков М.В., Корчик Н.М., Белікова С.В. Фізико-хімічні особливості процесу йонного обміну в комбінованих системах очищення стічних вод гальванічного виробництва. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Технічні науки*. 2013. Вип. 3. С. 101-108.

114. Яцков М. В., Корчик Н. М., Кирилук С. В. Кінетичні дослідження йонного обміну в системі «йоніт-розчин» при очищенні стічних вод гальванічного виробництва. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Технічні науки*. 2014. Вип. 2. С. 293-300.

115. Гомеля М., Трохименко Г., Глушко О. Вплив іонів жорсткості на сорбцію важких металів на катіоніті. *Технічні науки та технології*. 2018. № 1. С. 214-223.

116. Кулікова Д. В., Ковров О. С. Удосконалення технологічної схеми очищення стічних вод гальванічних цехів підприємств вугільного машинобудування. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*. 2020. № 2 (22). С. 97-106. [https://doi.org/10.31471/2415-3184-2020-2\(22\)-97-106](https://doi.org/10.31471/2415-3184-2020-2(22)-97-106).

117. Malollari, I., Pinguli, L., Buzo, R., Lajqi, V., Makolli, S., Cani, Xh. (2019). Actual situation of wastewater from food industry and a case study of their treatment. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 20 (1), 432-438.

118. Purwanti, I. F., Titah, H. S., Tangahu, B. V., Kurniawan, S. B. (2018). Design and Application of Wastewater Treatment Plant for "Pempek" Food Industry. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, 9 (13), 1751-1765.

119. Dindaş, G. B., Çalışkan, Y., Çelebi, E. E., Tekbaş, M., Bektaş, N., Yatmaz, H. C. (2018). Sequential Treatment of Food Industry Wastewater by ElectroFenton and Electrocoagulation Processes. *International Journal of Electrochemical Science*, 13 (12), 12349-12359. DOI: 10.20964/2018.12.82.

120. Zaiets, N. (2021). The use of electrotechnical equipment for food production wastewater treatment. *Przegląd Elektrotechniczny*, 1 (9), 108-111. DOI: 10.15199/48.2021.09.22.

121. Egorov, V. G., Davydov, O. Yu., Pribytkov, A. V., Chertov, E. D. (2021). Electrochemical water treatment plant for food production. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 640 (7), 072038. DOI: 10.1088/1755-1315/640/7/072038.

122. Dryabina, S. S., Fotina, K. M., Shulevich, Yu., Navrotskiy, A., Novakov, I. A. (2019). Treatment of Fat-Containing Wastewater Using Binary Flocculant Mixtures Based on Chitosan and Quaternary Salt of Poly(2-dimethylamino)ethyl Methacrylate. *Journal of Polymers and the Environment*, 27 (7). DOI: 10.1007/s10924-019-01454-7.

123. Garg, S., Chaudhry, S. (2017). Treatment of Wastewater of Food Industry by Membrane Bioreactor. *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology*, 4 (6), 153-156. DOI: 10.17148/IARJSET.2017.4628.

124. Дячок В. В., Мараховська А. О., Мараховська С. Б. Рідинно-екстракційне очищення стічних вод виробництва харчових олій. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2017. Вип. 27 (3). С. 89-91.

125. Максимів Н. Л., Олійник Л. П. Застосування ультразвуку для очищення стічної води у харчовій промисловості. *Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Серія: Хімія, технологія речовин та їх застосування: збірник наукових праць*. 2016. № 841. С. 308-315.

126. Бондар С. М., Чабанова О. Б., Чабанова А. А. Дослідження мембранного процесу очищення стічних вод олійножирової промисловості. *Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С.З. Гжицького*. 2015. Т. 17. № 4 (64). С. 23-27.

127. Гіроль М. М., Гіроль А. М. Технології водовідведення промислових підприємств : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2013. 625 с.

128. Правила користування системами централізованого комунального водопостачання та водовідведення в населених пунктах України : наказ Міністерства з питань житлово-комунального господарства України від 27.06.2008. № 190.

129. Правила приймання стічних вод до систем централізованого водовідведення : наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 01.12.2017. № 316.

130. Шестоपालов О. В., Гетта О. С., Рикусова Н. І. Сучасні методи очищення стічних вод харчової промисловості. *Екологічні науки*. № 2 (25). С. 20-27. <https://doi.org/10.32846/2306-9716-2019-2-25-4>.

131. Кулікова Д. В. Обґрунтування доцільності модернізації споруд з очищення жировмісних стічних вод на прикладі олійно-екстракційного комбінату ТОВ «Потоки». *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*. 2021. № 2. С. 102-111. DOI: 10.31471/2415-3184-2021-2(24)-102-111.

РОЗДІЛ 4. ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ

4.1. Прогнозування зсувонебезпечності та управління станом укосів на основі багатофакторних номограм

Керування станом масиву гірських порід і прогнозування стійкості природних схилів і техногенних укосів є однією з найважливіших інженерних задач для забезпечення зсувонебезпечності.

Методи чисельного моделювання дозволяють виконувати аналіз напружень і деформацій, що мають місце в схилах та укосах при заданих геометричних параметрах та міцнісних властивостях гірських порід. Результати чисельного моделювання, інтегровані в номограмах стійкості укосів, дозволяють прогнозувати зсувонебезпечні ситуації та керувати станом масиву порід як для яружно-балочних мереж, так і для техногенних укосів на об'єктах відкритої розробки, цивільного та промислового будівництва тощо.

Багатостадійне чисельне моделювання стійкості укосу за адекватним критерієм руйнування та з урахуванням як геометричних параметрів укосу, так і властивостей масиву, дозволяє не тільки визначити КЗС, але й побудувати криві граничної рівноваги укосу.

Багатофакторні номограми стійкості укосів отримали широке застосування для швидкого визначення коефіцієнта запасу стійкості схилів. Ці номограми розробляються відповідно до конкретних гірничо-геологічних умов об'єкта відкритої розробки чи цивільного будівництва за допомогою численних операцій визначення КЗС. У номограму включені безрозмірні параметри, що складаються з співвідношень між КЗС і об'ємною вагою, кутом внутрішнього тертя, зчепленням, висотою і кутом нахилу укосу.

Застосування номограм стійкості укосів, представлених в літературних джерелах [1] засноване на аналізі геомеханічного стану масиву порід при дотриманні таких вимог:

(a) матеріал, з якого складний укіс, є гомогенним, з однаковими характеристиками опору порід зрушенню вздовж всієї поверхні ковзання;

(b) опір порід зрушенню τ для конкретного матеріалу характеризується показниками зчеплення c і кутом внутрішнього тертя ϕ згідно з критерієм руйнуванням Кулона-Мора: $\tau = c + \sigma \tan \phi$;

(c) обвалення відбувається по круглоциліндричній поверхні ковзання, яка проходить через підшву укосу;

(d) вертикальна тріщина від натягу виникає на верхній поверхні або на поверхні укосу;

(e) місцезнаходження вертикальної тріщини від натягу і поверхні ковзання є такими, що КЗС укосу є мінімальним для розглянутих геометричних параметрів укосу і гідрогеологічних умов;

(f) гідрогеологічні умови укосу варіюють від дренажного до повністю водонасиченого стану з сильним водопритоком;

(g) номограми руйнування укосу оптимізовані для м'яких порід з об'ємною вагою до $18,9 \text{ kN/m}^3$ [2].

Для використання діаграм стійкості укосів з метою обчислення КЗС необхідно виконати такі операції: вибрати властивості міцності матеріалу однорідного масиву, що складає укіс; розрахувати значення безрозмірних параметрів $c / (\gamma H \tan \varphi)$ і знайти це значення на зовнішній круговій шкалі номограми; провести радіальну лінію з точки, знайденої на круговій шкалі до перегину з кривою, що відповідає куту нахилу укосу; знайти відповідне значення $\tan \varphi / FS$ або $c / (\gamma H FS)$, з яких можна визначити КЗС [1].

Комплексна оцінка впливу факторів, що визначають геомеханічну стійкість укосів, дозволила розробити номограму для розрахунку КЗС і раціональних геометричних параметрів розкритих уступів, складених суглинками за аналогією з номограмами Хоска-Брея [3].

За наявності вихідних даних міцності властивостей гірських порід, що отримані розрахунковим способом або в результаті лабораторних випробувань, можна визначити з достатньою точністю умови стійкого стану укосів уступів, складених м'якими розкритими породами.

Аналіз стійкості природних схилів та техногенних укосів в програмі чисельного моделювання Phase2 дозволив виявити важливі закономірності між КЗС та фізико-механічними властивостями порід [4]. За результатами цих досліджень обґрунтовано спосіб управління граничним станом укосу уступу на кар'єрі, що включає зміну кута нахилу шляхом спрямованої заукоски драглайном або мехлопати відповідно до змін фізико-механічних характеристик гірських порід, що відрізняється від відомих тим, що дозволяє задавати граничні геометричні параметри уступу, оцінювати інтенсивність зсувних процесів в приукосному масиві порід по багатофакторним розрахунковим діаграмам гранично стійких укосів і керувати довготривалою стійкістю укосів на кар'єрах шляхом зміни їх геометричних параметрів [4].

Методика управління стійкістю природних схилів та техногенних укосів отримала подальший розвиток і базується на використанні багатофакторних номограм, що розраховані за результатами чисельного моделювання та дозволяють визначати значення зсувів порід U_{x-y} в приукосному масиві (рис. 4.1).

При цьому, інтенсивність зсувних процесів на укосі уступу запропоновано оцінювати за такою шкалою максимальних зміщень порід:

- $U_{x-y} < 0,05$ м – незначні, з утворенням заколів і тріщин на верхній брівці;
- $U_{x-y} = 0,05 \dots 0,10$ м – середні, з виникненням тріщини відриву в приукосному масиві та ініціацією зсувних процесів;
- $U_{x-y} = 0,11 \dots 1,50$ м – значні, з розвитком поверхні ковзання в приукосному масиві;
- $U_{x-y} > 1,50$ м – катастрофічні, з повним обваленням укосів і зміщенням значних мас порід.

В багатофакторній діаграмі гранично стійких укосів інтегровані такі параметри: коефіцієнт запасу стійкості (КЗС), геометричні параметри укосу уступу (висота H і кут нахилу α), фізико-механічні характеристики гірських порід (питома вага γ , зчеплення C , і кут внутрішнього тертя φ) і розрахункові максимальні зсуви порід U_{x-y} в приукосному масиві.

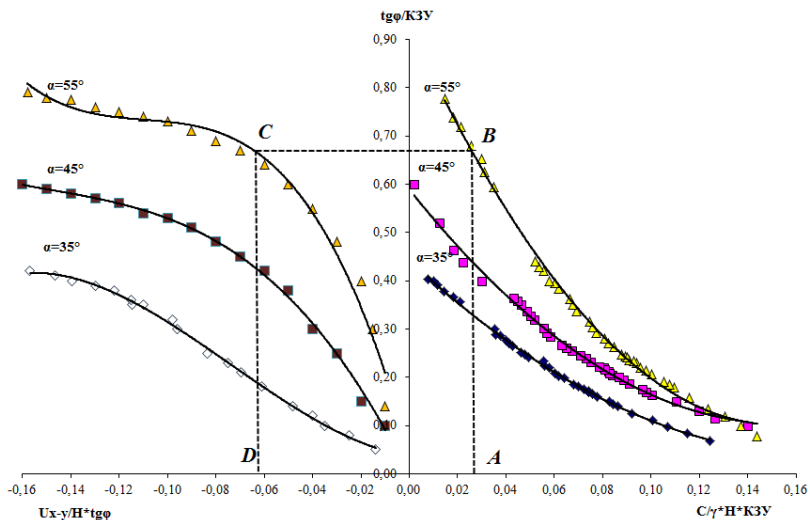


Рис. 4.1 – Багатофакторна розрахункова номограма гранично стійких укосів

Запропонована методика управління граничним напружено-деформованим станом укосів уступів на кар'єрах реалізується у такий спосіб.

Використовуючи дані фізико-механічних характеристик гірських порід, що складають укіс, задають геометричний профіль укосу уступу. За відомими залежностями стійкості укосів від геометричних параметрів і фізико-механічних характеристик визначають значення інтегральних безрозмірних величин $C/\gamma \cdot H \cdot K3C$ на осі абсцис та $tg\phi/K3C$ на осі ординат. З отриманої точки A на осі абсцис проводиться вертикальний відрізок до перетину з кривою в точці B , що відповідає заданому куту нахилу укосу α . З точки B проводиться горизонтальний відрізок, що перетинає в точці C криву максимальних зсувів масиву, яка відповідає заданому куту нахилу укосу α на дзеркальній стороні осі ординат. З точки C опускається перпендикуляр на вісь абсцис, де точка перетину D відповідає максимальним зсувам у приукосному масиві порід, що виражається у вигляді безрозмірної величини $U_{x-y}/H \cdot tg\phi$.

Граничний кут стійкого укосу ($\alpha_{гран}$):

$$\alpha_{гран} = \frac{\pi}{2} \left(\frac{C}{H} \right)^n \left(\frac{tg\phi}{a\gamma} \right), \quad (4.1)$$

C – зчеплення; ϕ – кут внутрішнього тертя; $a=0,05$ – поправочний коефіцієнт; $n=0,83$ – емпіричний коефіцієнт; γ – питома вага порід; H – висота укосу уступу.

Формулу (4.1) отримано емпіричним шляхом за допомогою методу аналізу розмірностей змінних параметрів, від яких переважно залежить стійкість укосу. Суть методу полягає в обґрунтуванні виразу-моделі, що складається з

параметрів, які характеризують систему, та має потрібну розмірність і певним чином імітує функціонування фізичної системи. Керована зміна кута нахилу укосу дозволяє управляти напружено-деформованим станом масиву та стійкими параметрами уступу.

Таким чином, запропонований спосіб дозволяє задавати граничні геометричні параметри уступу, оцінювати інтенсивність зсувних процесів в приукосному масиві порід за багатофакторними розрахунковими діаграмами гранично стійких укосів і управляти довготривалою стійкістю укосів уступів на кар'єрах шляхом зміни їх геометричних параметрів.

Отримані в результаті чисельного моделювання номограми стійкості укосів з безрозмірними величинами дозволяють із високим ступенем надійності визначати стійкі геометричні параметри прибортового масиву порід з урахуванням геологічних, гідрогеологічних і технологічних факторів.

Практична значимість полягає в застосуванні номограм стійкості для точного визначення оптимальних кутів нахилу укосів і вибирати раціональні геометричні параметри уступів з урахуванням геологічних, гідрогеологічних та технологічних факторів та керувати станом прибортового масиву гірських порід.

4.2. Оцінка зсувонебезпечності природного схилу поблизу водойми

Інтенсивне використання природних ресурсів і нарощування темпів промислового та цивільного будівництва зумовило техногенну дестабілізацію геологічного середовища та активізацію небезпечних екзогенних геологічних процесів (ЕГП) у регіонах України, особливо в Криму. Дослідження проводились у 2011-2012 роках з метою визначення зсувонебезпечності схилів та обґрунтування протизсувних заходів інженерного захисту.

Однією з найбільш значних проблем на південному березі Криму (ПБК) є зсувонебезпечний стан більшості ділянок, що відводяться під забудову. Складність зсувів ПБК полягає в безлічі факторів, що впливають на їх загальну і локальну стійкість. Розвиток прикладних програм чисельного моделювання для вирішення геотехнічних задач дозволяє максимально точно визначити вплив геомеханічних та геодинамічних факторів на стійкість зсувних ґрунтових масивів.

Метою дослідження є геомеханічна оцінка стійкості зсувного схилу г. Могабі (АР Крим) та обґрунтування ефективності застосування засобів інженерного захисту на основі методу скінчених елементів. Методологія дослідження базується на комплексному підході з використанням натурних спостережень за зсувним схилом, інженерно-геологічних вишукувань геоморфологічних і гідрогеологічних параметрів з урахуванням складної геодинамічної обстановки; чисельним моделюванням стійкості об'єкта в інженерних програмах скінченно-елементного аналізу Plaxis і Phase2.

Розвиток господарського комплексу України відбувається в умовах нарощування техногенної дестабілізації геологічного середовища, наслідком якої, зокрема, є активізація небезпечних екзогенних геологічних процесів (ЕГП).

Поширення зсувних процесів на ПБК пов'язано з сукупністю природно-історичних чинників і, останнім часом, переважно, з діяльністю людини, зокрема, з нерациональною забудовою, частковим або повним переплануванням схилів і будівництвом на них різних об'єктів, порушенням роботи існуючих дренажних систем і зміною гідрогеологічного режиму, а також неконтрольованим розміщенням промислових і побутових відходів.

Зсуви ПБК в різний час були вивчені і систематизовані багатьма вченими. В роботі І.Ф. Єриша [5] представлені комплексні дослідження з систематизації і мікрорайонування зсувної обстановки з урахуванням гідрологічних і геоморфологічних факторів.

Скінченно-елементний аналіз напружено-деформованого стану зсувного схилу в природних умовах проводився в роботі [6]. Основні аспекти формування зсувних відкладів вивчалися і розглядалися Л.А. Аносовим [7]. Значний інтерес представляють роботи з аналізу геодезичного моніторингу ефективності протизсувних заходів, що дозволяють визначати параметри зміщень і деформацій елементів інженерного захисту схилу в просторі і в часі [8] відповідно до ДБН В.1.1-24:2009 [9].

Для більш глибокого вивчення геомеханічних процесів, що мають місце в ґрунтовому масиві, практичний інтерес має порівняльне чисельне моделювання зсувного схилу з урахуванням геоморфологічних та гідрологічних особливостей в природному стані і після закріплення ґрунтового масиву.

Ділянка досліджень розташована на південний захід від м. Ялта, на північному схилі г. Могабі, на південь від смт Виноградне, на південь від водосховища «Могабі-2», практично приєднуючись до останнього. В геоморфологічному відношенні досліджувана територія розташована в межах помірно крутого схилу північної експозиції з абсолютними відмітками поверхні 317-376 м. Безпосередньо ділянку проєктованого будівництва розташований в межах східної гілки зсувної системи №133 «Могабі-2» з загальним базисом розвантаження, приуроченим до руслу річки Учан-Су.

Рельєф схилу сформований древніми і сучасними зсувними і ерозійними процесами, а також сильно змінений в результаті господарського освоєння території, а саме – облаштування водосховища «Могабі-2», будівництва житлових будинків та споруд на прилеглий території, під'їзних доріг, організації поверхневого та підземного стоків, прокладки комунікацій. В геологічній будові досліджуваної території беруть участь корінні ґрунти таврійської серії, перекриті нерозчленованими верхньочетвертичними та сучасними відкладеннями і ґрунтами техногенного генезису (рис. 4.2).

За результатами інженерно-геологічних вишукувань, виконаних раніше на даній і прилеглої території, в межах досліджуваної ділянки поширені інженерно-геологічні елементи (ІГЕ), фізико-механічні характеристики яких отримані за результатами лабораторних випробувань, а також за зворотними розрахунками умов граничної рівноваги зсувного схилу (табл. 4.1).

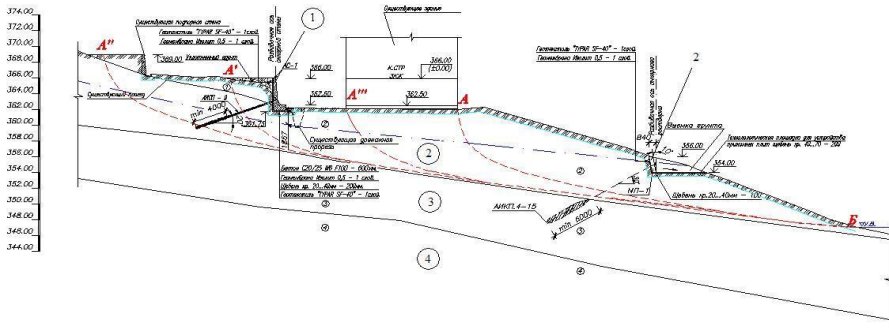


Рис. 4.2 – Поздовжній розріз зсувного схилу:

- 1 – насипний грунт; 2 – суглинок дресв'яний, вологий; 3 – суглинок дресв'яний, маловологий; 4 – аргіліт з прошарками алевролітів і пісковиків;
 А, А', А'', А''', Б – точки початку і кінця потенційних поверхонь ковзання

Таблиця 4.1 – Фізико-механічні характеристики ґрунтового масиву

Найменування інженерно-геологічних елементів	Щільність, γ , кН/м ³	Зчеплення, С, МПа	Кут внутрішнього тертя, φ , град.	Модуль деформації, M_D , МПа
ПЕ-1 – насипний ґрунт: щебінь, суглинок дресв'яно-щебеневий неоднорідний	20,9	0,004	17	18
ПЕ-2 – суглинок дресв'яний, твердий, вологий (дресва і щебінь аргіліту, алевроліту і пісковика)	20,8	0,030	31	38
ПЕ-3 – суглинок дресв'яний, твердий, маловологий (аргіліт дрібнолускатий, перем'ятий до суглинку дресв'яного)	21,7	0,027	32	41
ПЕ-4 – аргіліт з прошарками алевролітів і пісковиків	22,6	0,020	35	49
ПЕ-5 – зона ковзання	20,8	0,008	13	38

Підземні води в ході інженерно-геологічних вишукувань, виконаних раніше, були розкриті двома розвідувальними свердловинами і їх сталий рівень склав: 2,50 (св. 1) і 5,0 м (св. 2). Підземні води приурочені до суглинистих ґрунтів зсувного генезису.

Ґрунтові води мають поточно-струменистий характер руху, не мають напор і характеризуються спорадичним поширенням. Насипні ґрунти і верхня зона суглинних ґрунтів на момент досліджень (лютий 2012 рік) сильно зволожені за рахунок фільтрації поверхневих вод і відсутності організованої системи збору та відведення поверхневого стоку.

В ході інженерно-геологічних вишукувань було встановлено, що зсувна територія характеризується розвитком регресивних зсувів уздовж зсувного

схилу із загальним базисом розвантаження на водосховищі «Могабі-2». Це обумовлено переплануванням схилу і збільшенням техногенного навантаження в головній частині зсуву при будівництві житлового комплексу.

Сталі повільні зміщення розвивають деформації в основі існуючої споруди та викликають перерозподіл мас вздовж схилу, залучаючи в рух більш стабільні ділянки за рахунок зменшення маси контрфорсної частини. Отже, найбільший інтерес для досліджень представляє встановлена інструментально (методом ПЕМПЗ) і візуально область, що знаходиться в найбільш напруженому стані – зона ковзання по кривій А''' – Б (рис. 4.3).

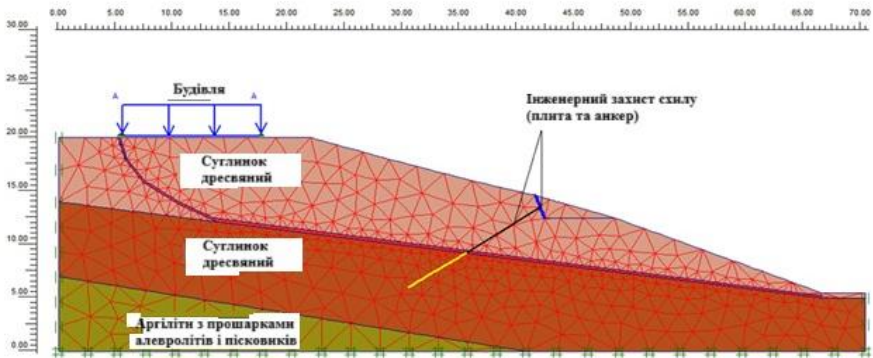


Рис. 4.3 – Геометричні параметри зсувного схилу (PLAXIS)

Для порівняльної оцінки геомеханічної стійкості зсувного схилу даного об'єкту використані інженерні програми скінчено-елементного аналізу PLAXIS версії 8.2 компанії PLAXIS Inc. (www.plaxis.nl) та Phase2 версії 7.0. компанії Rocscience Inc. (www.rocscience.com).

За даними інженерно-геологічних вишукувань в вищевказаних інженерних програмах задані геометричні параметри даного об'єкту. Область геометричної моделі розбивалася на скінчені елементи, а для інженерно-геологічних шарів присвоювалися фізико-механічні характеристики ґрунтового масиву згідно з даними, наведеними в табл. 4.1. Для оцінки міцності ґрунтів і м'яких порід використано критерій Кулона-Мора.

Програма PLAXIS є спеціалізованою двомірною програмою, засновану на методі скінчених елементів, яка використовується для розрахунків деформацій і стійкості різних геотехнічних об'єктів. Реальна ситуація моделюється за допомогою скінчених елементів плоскої деформації або вісесиметричної моделі. Розрахунок коефіцієнта стійкості (ΣM_{sf}) виконується за допомогою відомого алгоритму зниження міцнісних параметрів (*Shear Strength Reduction Method*) для визначення критичного коефіцієнта стійкості [10]. Параметри міцності ґрунту, що входять в умову Кулона-Мора ($\tan\varphi$ и C), послідовно зменшуються до тих пір, поки не відбудеться руйнування.

Облік впливу споруди на стійкість зсувного схилу проводився виходячи з просторово-геометричного розташування і його ваги, який становить $58,8 \text{ kN/m}^2$, як для триповерхової конструкції.

В результаті виконаних розрахунків отримані максимальні зсувні деформації, які приурочені до ослабленого прошарку ґрунтового масиву – зони ковзання. Найбільші величини деформацій спостерігаються на початковій ділянці зони ковзання, в основі існуючої споруди, і розвиваються по всій довжині зсуву до базису його розвантаження (рис. 4.4).

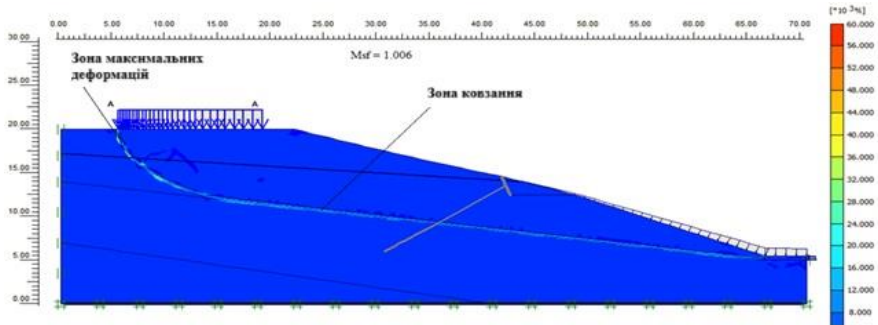


Рис. 4.4 – Максимальні зсувні деформації в масиві до закріплення схилу (PLAXIS)

Розрахований коефіцієнт стійкості, який склав $M_{sf}=1,006$, і обчислені загальні зміщення в ґрунтовому масиві $Extreme U_{tot}=0,028 \text{ м}$, свідчить про те, що зсувний схил дійсно знаходиться на стадії повільних зсувів в умовах граничної рівноваги, що не відповідає вимогам, які регламентуються нормативною базою, що діє на території України, як для ступеня відповідальності геотехнічної споруди СС-2 [11], [12].

Для сприйняття зсувного і активного тиску ґрунту ($294,0 \text{ kN/m}$) і забезпечення нормативної стійкості зсувного схилу ($K_{зан}=1,16$), запроєктовані анкерні утримуючі конструкції. Підпірна стіна з жорстким попередньо напруженим анкером із зусиллям $98,0 \text{ kN/m}$ приймає активний тиск ґрунту і забезпечує стійкість майданчика вище існуючої споруди (рис. 4.5). Монолітна залізобетонна плита притиснута до схилу ін'єкційним канатним анкером з розрахунковим зусиллям в тязі $515,48 \text{ kN/m}$.

Після проведення повторних розрахунків з урахуванням утримуючих конструкцій отриманий коефіцієнт стійкості, що відповідає нормативним вимогам $M_{sf}=1,421$ (рис. 4.5). Максимальні загальні переміщення склали $Extreme U_{tot}=0,013 \text{ м}$ в районі задньої грані анкерної плити, а в іншій частині схилу спостерігається стабілізація переміщень. Таким чином, запроєктовані конструкції виконують функцію інженерного захисту та стабілізують зсувний схил, забезпечуючи нормативний коефіцієнт запасу стійкості [12].

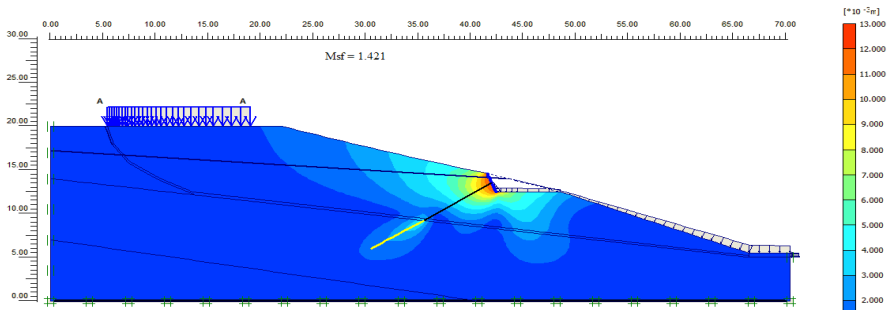


Рис. 4.5 – Загальні зміщення в ґрунтовому масиві (після закріплення) (PLAXIS)

Програма скінчено-елементного аналізу Phase2 також дозволяє моделювати геомеханічні процеси, що відбуваються в ґрунтовому масиві на основі різних моделей деформаційного середовища і теорій міцності. У програмі використовується ітераційний алгоритм зниження міцності параметрів шляхом введення коригуючого (послаблюючого) коефіцієнта (SRF, Strength Reduction Factor). Коефіцієнт зниження міцності (КСП) реалізований в Phase2 [13], має таке ж значення, що і коефіцієнт запасу стійкості M_{sf} , що використовується в програмі PLAXIS [14].

Профіль зсувного схилу в Phase2 змодельований таким чином, щоб всі деталі поздовжнього розрізу були відображені з такою ж точністю, як і в програмі PLAXIS (рис. 4.6).

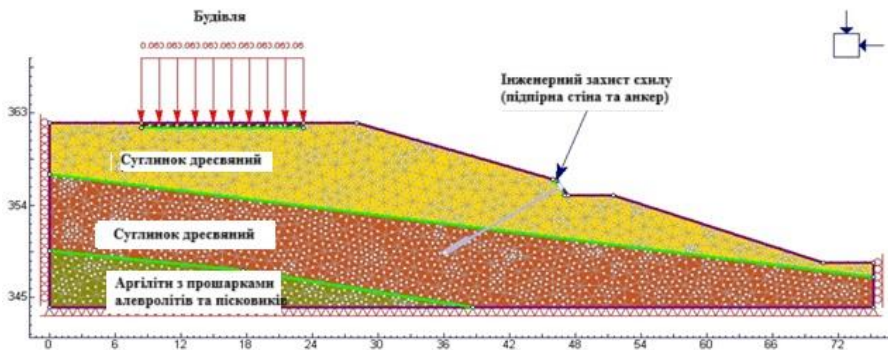


Рис. 4.6 – Геометричні параметри зсувного схилу (Phase2)

Результатом послідовного навантаження моделі і ітераційних обчислень є визначення місцезнаходження потенційної поверхні ковзання в ґрунтовому масиві і зон максимальних зсувних деформацій (*shear strain*):

$$\varepsilon_{max} = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_3}{2}, \quad (4.2)$$

ε_1 та ε_3 – найбільші і найменші головні деформації, які для плоскої задачі відповідають значенням найбільшого і найменшого напружень σ_1 і σ_3 .

Для розглянутої вище задачі коефіцієнт зниження міцності масиву дорівнює 1,0, що практично збігається з аналогічними розрахунками, виконаними в програмі PLAXIS (рис. 4.7-4.9).

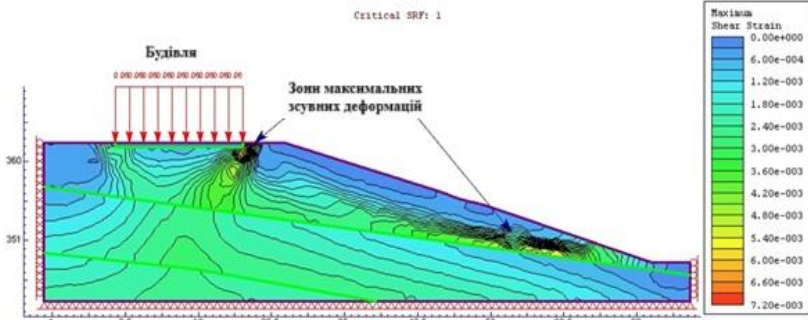


Рис. 4.7 – Максимальні деформації в масиві до закріплення схилу (Phase2)

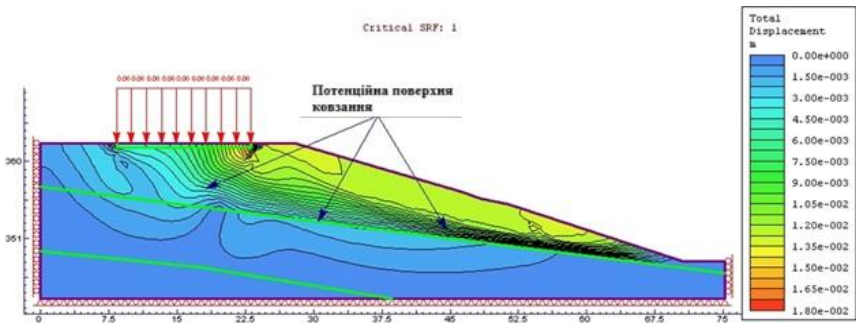


Рис. 4.8 – Загальні зміщення в ґрунтовому масиві до закріплення схилу (Phase2)

Області з максимальними зсувними деформаціями спостерігаються під частиною фундаменту триповерхової будівлі ближче до початку схилу ($\varepsilon_{max}=0,006\dots0,007$), а також в середній частині схилу на межі ПГЕ-2 і ПГЕ-3 (рис. 4.9). При цьому намічаються контури потенційної лінії ковзання, верхня межа якої починається під фундаментом будівлі на відстані 8 м від початку схилу і поширюється вниз по схилу до рівня води (відм. 346 м).

Загальні зміщення в ґрунтовому масиві досягають значень $U_{xy}=0,013-0,017$ м, що відповідає ініціації зсувного процесу в ґрунтовому масиві. Проходження поверхні ковзання по ослабленю прошарку ґрунтового масиву обумовлено більшою щільністю суглинків ПГЕ-3, а також зниженням міцності шару суглинків ПГЕ-2 у зв'язку з впливом ґрунтових вод.

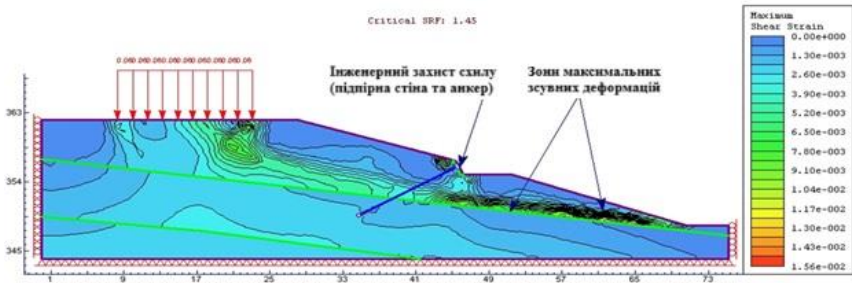


Рис. 4.9 – Максимальні деформації в масиві після закріплення схилу (Phase2)

Після виконання заходів щодо інженерного захисту схилу із застосуванням залізобетонної монолітної плити з канатним попередньо напруженим ін'єкційним анкером коефіцієнт запасу стійкості приймає значення $M_{sf}=1,45$, що близько за величиною з розрахунком, виконаним в PLAXIS (рис. 4.9).

Максимальні зсувні деформації під фундаментом будівлі в тій частині, яка межує з верхньою точкою укусу, зменшуються до значень $\varepsilon_{max}=0,003-0,005$.

Згідно з результатами чисельного моделювання геомеханічної стійкості зсувного схилу, коефіцієнти запасу стійкості до виконання інженерного захисту склали 1,006 і 1,0 в програмах PLAXIS і Phase2 відповідно. Таким чином, моделювання з використанням альтернативних алгоритмів показало, що схил знаходиться в стані граничної рівноваги.

Для забезпечення нормативної стійкості схилу ($K_{ЗС}=1,16$) запроєктовані анкерні утримуючі конструкції у вигляді монолітної залізобетонної плити з канатним попередньо напруженим анкером з розрахунковим зусиллям 343,6 кН/м.

Після проведення заходів щодо інженерного захисту коефіцієнти запасу стійкості збільшилися до значень 1,421 і 1,45 в програмах PLAXIS і Phase2 відповідно, що свідчить про ефективну стабілізацію зсувного схилу [12].

Моделювання стійкості зсувонебезпечних схилів у програмах скінченно-елементного аналізу Plaxis і Phase2 дозволило визначити коефіцієнти запасу стійкості зсувного схилу з урахуванням геоморфологічних параметрів та фізико-механічних характеристик масиву порід за критерієм міцності Кулона-Мора. В результаті чисельного моделювання геомеханічних процесів у зсувному схилі визначені значення максимальних деформацій в ґрунтовому масиві, що обумовлюють виникнення зсуву. Це дозволяє розробляти нормативну документацію з інженерного захисту територій від ЕГП.

Геомеханічний аналіз даного об'єкту з використанням сучасного програмного забезпечення підтвердив, що застосування анкерних утримуючих конструкцій є ефективним способом інженерного захисту схилу від зсувів.

Незважаючи на позитивні результати по закріпленню схилу, проблемною є ділянка схилу нижче утримуючих конструкцій по контакту шарів П'Е-2 і П'Е-3,

де максимальні деформації зростають до значень $\varepsilon_{max}=0,010-0,014$. Для забезпечення довготривалої стійкості даного об'єкту доцільно здійснення регулярного моніторингу екогенних геологічних процесів.

Також необхідно зазначити, що найважливішим аспектом при дослідженні зсувних процесів в умовах ПБК є достовірність просторово-геометричного положення зони ковзання та її геомеханічні параметри, які значно впливають на результати моделювання.

4.3. Закріплення схилів та техногенних укосів з використанням армуючих властивостей кореневих систем деревної рослинності

Наявність деревно-чагарникової рослинності на схилах є важливим елементом протиерозійних і протизсувних заходів, завершальним етапом біологічної рекультивациі порушених земель, що забезпечує їх стійкість, як в геотехнічному, так і в екологічному контексті. При класичній оцінці стійкості схилів наявність або відсутність деревної рослинності в розрахунках зазвичай не використовується. Посадка дерев на схилах розглядається як захід, що забезпечує додатковий «запас стійкості». Кореневі системи дерев і чагарників на схилах проявляють властивості своєрідних фітоанкерів, що обумовлюють додаткові утримуючі сили при зсувних процесах. Величини цих сил залежать від розмірів і конфігурації зони поширення коренів, від густоти їх розподілу в ґрунті, від їх середньої міцності.

Значною мірою саме завдяки армуючій дії коренів деревно-чагарникової рослинності схил утримується від обвалення в процесі розвитку зсувних процесів. Тому посадка дерев на зсувонебезпечних ділянках розглядається як захисний агролісомеліоративний захід. Особливе значення ці заходи мають в практиці біологічної рекультивациі порушених земель при відкритій і підземній розробці родовищ корисних копалин для створення стійкого рослинного покриву на схилах породних відвалів і неробочих бортах кар'єрів.

Іноді деревні породи на схилах можуть, навпаки, сприяти інтенсифікації зсувних процесів, що обумовлено значною надземною вагою дерев, підвищеною парусністю їх крон, здатністю коренів до утворення глибоких тріщин в ґрунті, підняттям підземних вод до поверхні і зволоженню ґрунтів за рахунок всмоктуючої дії коренів.

Метою даної роботи є оцінка армуючих властивостей кореневих систем деревно-чагарникової рослинності на схилах з використанням програми скінченно-елементного аналізу Phase2. У запропонованій геомеханічній моделі схилу (укосу) кореневі системи дерев і чагарників представлені у вигляді своєрідних анкерів (фітоанкерів) морфологічно подібних до натурних об'єктів.

Лісотехнічна рекультивациія. Біологічний етап рекультивациія включає комплекс агротехнічних і фітомеліоративних заходів спрямованих на створення стійкого рослинного покриву на поверхні техногенних масивів порід. Світова практика показує, що завдання відновлення земель в значній мірі вирішуються за допомогою проведення фіторекультивациія техногенних ландшафтів, так як встановлення стійких рослинних угруповань (фітоценозів) визначає

стабільність і продуктивність техноекосистеми в цілому [15]. Дерева і чагарники з потужною кореневою системою, здатною глибоко проникати в породний субстрат, є найкращим вибором для потреб лісотехнічної рекультивації. За допомогою таких видів можна ефективно закріплювати схили техногенних насипних масивів і перешкоджати ерозійним процесам на схилах бортів кар'єрів і породних відвалів.

Ключовим завданням успішної рекультивації є створення стійких фітоценозів здатних не тільки існувати, але й виступати в якості сили, що прискорює природне відновлення порушених земель. Так, наприклад, повна фіторекультивації неробочого борта на одному з найбільших буровугільних розрізів «Хамбах» (Рейн-Вестфальський буровугільний басейн, Німеччина) забезпечило не тільки захист від масштабних зсувних явищ, а також створило передумови для відновлення природного середовища.

Анкерні властивості кореневих систем рослин. Різні види деревно-чагарникової рослинності мають специфічні кореневі системи та відрізняються морфологічною неоднорідністю [16].

Глибина проникнення коренів залежить від породи дерева, його віку, ґрунтових характеристик. Виділяють породи дерев з «поверхневим укоріненням» – до 0,6 м (ялина звичайна та ін.), з неглибоким проникненням коренів – 0,6...1,5 м (береза повисла, береза бородавчата, липа великолиста, ялиця біла та ін.), середнім проникненням коренів – 1,5...3,0 м (тополя, клен гостролистий, горіх волоський, бук європейський, каштан їстівний та ін.), з глибоким проникненням – 3,0...5,0 м (сосна звичайна, ялина сибірська та ін.) і дуже глибоким – понад 5 м (дуб звичайний, клен, явір). Ці глибини можуть змінюватися в досить широких межах залежно від віку, ґрунтових умов. У більшості порід максимальна глибина проникнення коренів досягається у віці 25...40 років, після чого вона майже не збільшується.

У дослідженнях стійкості схилів з рослинністю [17], опір шару ґрунту зрушенню в межах ґрунтово-кореневого шару визначався у вигляді інтегрального показника питомого зчеплення, визначеного стандартним методом при інженерно-геологічних вишукуваннях (без урахування коренів), і додатковою частиною питомого зчеплення, що визначався в залежності від насиченості цього шару корінням.

В роботі [18] показано, що екзогенні геологічні процеси майже відсутні в укосах з ухилом до 40° і покритті рослинністю більше 70%. Залежно від густоти фітоценозу, в кореневій зоні формується характерна фітоанкерна структура, що зв'язує ґрунт в єдиний моноліт та додає стійкості схилу. В даному випадку термін «стійкість» має відношення не до всього схилу, а до незначної його частини, поширену на глибину проникнення коренів рослин.

Чисельне моделювання стійкості схилу з деревинною рослинністю. Розглянемо однорідний укіс з довільно обраним кутом нахилу $\alpha=37^\circ$, що складається з лесових суглинків. Для ґрунту прийняті такі фізико-механічні властивості: модуль деформації $E=20$ МПа, коефіцієнт Пуассона $\mu=0,35$, об'ємна вага ґрунту $\gamma=0,017$ МН/м³, межа міцності на розтяг $\sigma_p=0,040$ МПа, зчеплення $C=0,040$ МПа, кут внутрішнього тертя $\varphi=24^\circ$ [19].

Згідно з результатами розрахунків укіс знаходиться в гранично стійкому стані, а $K3C=1,14$. Дві зони максимальних зсувних деформацій у верхній частині укосу ($e_{max}=0,015$) і на рівні нижньої бровки ($e_{max}=0,042$) ідентифікуюють потенційну поверхню ковзання (рис. 4.10, а). Загальні зміщення порід варіюють в діапазоні $U_{x,y}=0,131...0,225$ м (рис. 4.10, б).

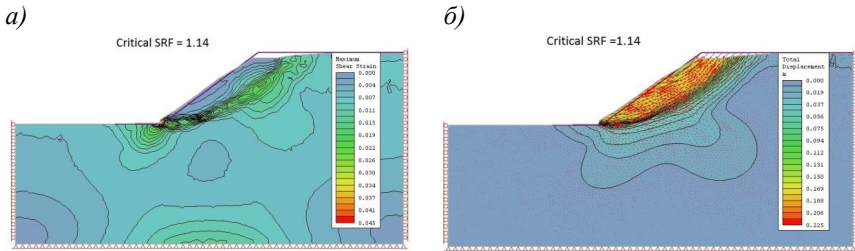


Рис. 4.10 – Максимальні зсувні деформації (а) і зміщення (б) в схилі

Оскільки геометричні параметри мають першорядне значення при оцінці стійкості укосів, були виконані розрахунки КЗС при різних кутах нахилу укосу в діапазоні $\alpha=30...70^\circ$ і висотах уступу $h=15...40$ м з урахуванням фізико-механічних характеристик породного масиву. При цьому, обвалення укосу ($K3C=1,0$) виникає при таких геометричних параметрах: $H_3=25$ м і $\alpha=65^\circ$, $H_4=30$ м і $\alpha=55^\circ$, $H_5=35$ м і $\alpha=50^\circ$, $H_6=40$ м і $\alpha=45^\circ$. В цілому, при заданих геометричних параметрах і фізико-механічних характеристиках стійкість укосу забезпечується при $\alpha \leq 40^\circ$.

Аналіз геомеханічної стійкості укосу армованого кореневою системою дерев. Геомеханічна оцінка впливу корневих систем на стійкість земної поверхні носить міждисциплінарний характер, так як знаходиться на стику біологічних і геотехнічних наук.

Розглянемо тепер описаний вище схил за умови наявності на його поверхні деревно-чагарникової рослинності. З огляду на результати чисельного моделювання, представлених на рис. 4.10, очевидно, що зони максимальних деформацій знаходяться в межах нижньої бровки укосу. Беручи до уваги деякі побоювання щодо зниження стійкості схилів з урахуванням ваги дерев, парусності їх крон, меншою приживлюваністю рослинних угруповань у верхній частині схилу, виникає припущення про доцільність здійснення часткової фіторекультивациі схилу в межах нижньої його частини.

В гіпотетичній моделі укосу з урахуванням армуючих властивостей корневих систем дерев приймається схема посадки дерев в три ряди: середній ряд – біля основи нижньої бровки укосу, а два інших ряду – на відстані $l=4...5$ м від середнього ряду (рис. 4.11). При цьому, один ряд дерев слід висаджувати безпосередньо на схилі. У моделі приймається середня відстань горизонтального поширення коренів до 5 м.

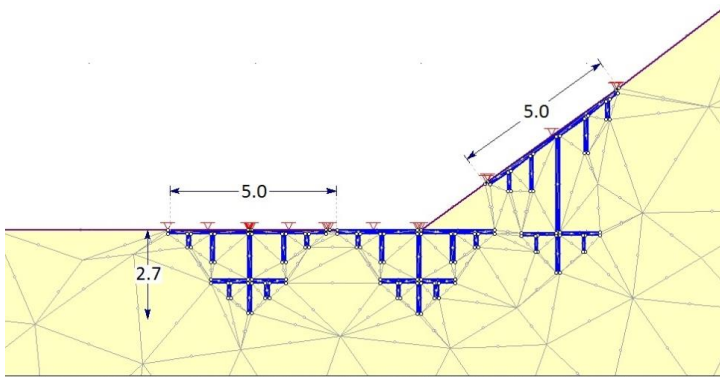


Рис. 4.11 – Геометричні параметри і розташування корневих систем деревної рослинності (гіпотетичних фітоанкерів) на схилі

Враховуючи потенційне розташування поверхні ковзання масиву порід поблизу нижньої бровки укосу, доцільно виконати геомеханічну оцінку армуючих властивостей корневих систем деревно-чагарникових рослин на схилі в програмі Phase2. Для урахування армуючих властивостей коренів дерев у нижній частині укосу задається складна форма гіпотетичного фітоанкера наближену морфологічно до корневих систем деревної рослинності [16].

Параметри складного фітоанкера такі: нормальна жорсткість – 100000 кПа/м; жорсткість на зсув – 10000 кПа/м.

Графічне зображення максимальних деформацій і зсувів на схилі з урахуванням армуючих властивостей коренів дерев на схилі, представлено на рис. 4.12.

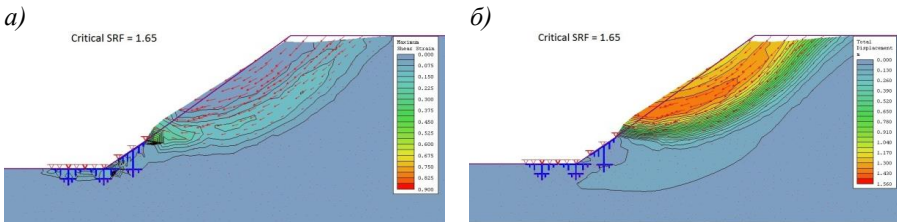


Рис. 4.12 – Графічне зображення максимальних деформацій (а) і зміщень (б) на схилі з урахуванням армуючих властивостей коренів дерев

Згідно з результатами розрахунків стійкість укосу, закріпленого деревинною рослинністю, збільшилася на 44,7% ($K_{ЗС}=1,65$) в порівнянні з незакріпленим. Кругло-циліндрична поверхня ковзання є менш вираженою, а нижня її частина виходить поблизу верхнього фітоанкера, де максимальні зсувні деформації збільшилися на порядок, і досягають значень $e_{max}=0,450$. Друга зона зсувних деформацій ($e_{max}=0,150$) спостерігається на рівні нижньої

бровки між верхнім і центральним фітоанкером (рис. 4.12, а). Загальні зміщення порід збільшилися в 2 рази і варіюють в діапазоні $U_{x,y}=0,65 \dots 1,43$ м (рис. 4.12, б). Зміщення порід поблизу фітоанкерів практично відсутні.

Результати розрахунків КЗС для закріпленого укосу, представлені на рис. 4.13, свідчать, що стійкість укосу з кутами нахилу в діапазоні $\alpha=30\dots70^\circ$ збільшується: при $H_1=15$ м, $\Delta K_{ЗС}=5,0-51,1\%$; $H_2=20$ м, $\Delta K_{ЗС}=6,5-16,2\%$; $H_3=25$ м, $\Delta K_{ЗС}=17,4-22,9\%$; $H_4=30$ м, $\Delta K_{ЗС}=7,4-16,1\%$; $H_5=35$ м, $\Delta K_{ЗС}=12,6-20,8\%$; $H_6=40$ м, $\Delta K_{ЗС}=9,7-16,7\%$. При цьому, явище обвалення укосу ($K_{ЗС}=1,0$) виникає при таких геометричних параметрах: $H_4=30$ м і $\alpha=62^\circ$, $H_5=35$ м і $\alpha=60^\circ$, $H_6=40$ м і $\alpha=52^\circ$.

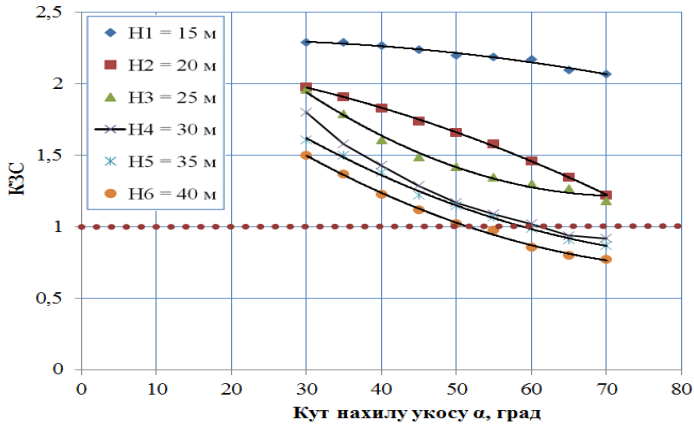


Рис. 4.13 – КЗС схилу з урахуванням фітоанкерів

Отримані результати геомеханічної оцінки армуючих властивостей кореневих систем на зсувонебезпечних схилах свідчать про достатню ефективність рекультивациі природних схилів і техногенних укосів за умови правильного вибору видів деревної рослинності і способу їх висадки на схилі.

Встановлено, що стійкість укосу, закріпленого деревною рослинністю в нижній частині, збільшується на 5,0-51,1% в порівнянні з незакріпленим схилом та залежить як від геометричних параметрів, так і від фізико-механічних властивостей ґрунту. В цілому, при заданих геометричних параметрах і фізико-механічних характеристиках стійкість укосу з фітоанкерами забезпечується при $\alpha \leq 52^\circ$, що на 16% більше ніж без закріплення [17]-[18].

Закріплення зсувонебезпечних схилів особливо при крутих кутах нахилу за допомогою дерев і чагарників є найбільш екологічним способом захисту поверхні від ерозії, тому що при цьому створюються зелені насадження, які виконують фітомеліоративні функції.

Результати досліджень армуючих властивостей кореневих систем на зсувонебезпечних схилах дозволили сформулювати наступний висновок: Стійкість природних схилів та штучних укосів з кутами нахилу в діапазоні

$\alpha=30^{\circ}-70^{\circ}$ та довжиною l_s збільшується на 5-51% за умови його закріплення вздовж нижньої бровки та вгору по схилу на відстань 0,1-0,2 l_s кореневою системою деревинної рослинності (фітоанкери), що дозволяє розробляти ефективні заходи інженерного захисту схилів від зсувів.

4.4. Лісотехнічна рекультивація техногенних укосів та ландшафтів на основі екосистемного підходу

У зв'язку із вичерпністю природних ресурсів та зростанням спектру екологічних проблем набуває актуальності концепція стійкого екологічного розвитку територій, що враховує баланс між рівнем технологічного прогресу, соціально-економічною й екологічною складовими. Особливого значення ця концепція набуває в гірничодобувних регіонах, де неминуче виникає низка проблем, пов'язаних із порушенням нормативів техногенної та екологічної безпеки. Особлива увага в цьому контексті приділяється контролю, мінімізації й запобіганню негативних наслідків, спричинених навколишньому середовищу видобувною промисловістю та техногенною діяльністю [20], [21].

Одним із шляхів вирішення цих проблем є концепція Пост-Майнінгу (Post-Mining), яка передбачає синхронне функціонування гірничого підприємства і паралельне впровадження бізнес-проектів, наприклад створення технопарків, об'єктів альтернативної енергетики, газогенеруючих установок, комплексів глибокого очищення шахтних вод, агропромислових підприємств.

Завершальний етап розробки корисних копалин відкритим способом є початковим етапом процесу гірничотехнічної рекультивації порушених земель, який передбачає розробку заходів щодо формування рельєфу нової денної поверхні території. На прикладі досвіду роботи марганцевих кар'єрів Орджонікідзевського гірничо-збагачувального комбінату обґрунтовано принципові підходи до формування виробленого простору кар'єру, геометричні і технологічні характеристики внутрішніх відвалів у взаємозв'язку з параметрами систем розробки і особливостями технологій гірничих робіт [22].

Комплексний аналіз ландшафтних та екологічних порушень після завершення відпрацювання запасів родовищ є основою для наступного етапу біологічної рекультивації. Зазвичай, відкриті гірничі виробки та зовнішні відвали розкривних порід підлягають фіторекультивації з повним відновленням до стану первинної екосистеми. Лісотехнічна рекультивація в гірничих регіонах включає комплекс агротехнічних і фітомеліоративних заходів, спрямованих на створення стійкого рослинного покриву на поверхні техногенних масивів порід.

Незважаючи на те, що розроблені численні технології рекультивації земель, світовий досвід показує, що в цій галузі існують проблеми, пов'язані зі створенням стійких рослинних угруповань, підбором асортименту деревинно-чагарникової рослинності, доступністю елементів мінерального живлення рослин і тривалим впливом токсичних речовин породних масивів на флору і фауну. Тому виявлення пріоритетних екологічних чинників відновлення порушених ландшафтів і визначення ефективних заходів щодо закріплення укосів та спрямованої фіторекультивації є актуальною проблемою.

Роль рослинності у відновленні земель. Екосистемний підхід при плануванні біологічного етапу рекультивації дає змогу виявити складні взаємовідносини між організмами всередині біологічної системи і оцінити вплив факторів навколишнього середовища на складові компоненти. Ключовим завданням успішної рекультивації є створення стійких фітоценозів здатних не тільки існувати на техногенній території, а й виступати в якості сили, що прискорює природне відновлення порушених земель. При цьому враховується комплекс екологічних чинників, що впливають на ефективність формування рослинних угруповань.

Рослинність істотно впливає на властивості ґрунту, визначає гідрологічні характеристики та забезпечує механічну стабільність, що особливо важливо для закріплення схилів [23]. Їх коріння не тільки служать середовищем для існування живих організмів, процесів кругообігу поживних речовин, але і є своєрідним біо-геомеханічним скелетом для схилу. Щільний рослинний покрив забезпечує довготривалий і ефективний захист поверхні схилів від водної і вітрової ерозії на техногенних територіях [24]. Але багаторічні трави можуть служити в якості піонерних спільнот, які готують умови для більш довговічної деревно-чагарникової рослинності.

Дерева і чагарники в більшій мірі впливають на процеси ґрунтоутворення, накопичення органічної речовини, закріплення схилів та створення середовища для формування стійкого геоландшафту [25].

Фізико-хімічні властивості порід. На відміну від ґрунтів, властивості гірських порід, що складаються на денній поверхні у вигляді відвалів і насипів, обумовлені фізико-хімічними характеристиками вихідних геологічних пластів. В них практично відсутня органічна речовина і ґрунтові організми, необхідні для створення стійкої екологічної системи. Істотними фізико-механічними характеристиками порід є їх ущільненість і нерівномірна структура, що перешкоджає кореневій системі рослин нормально розвиватися, а також вплив токсичних речовин, зокрема важких металів в підвищених концентраціях [24].

Активна реакція ґрунтового середовища (рН). Низькі значення рН середовища надають найбільш токсичний ефект на рослини в порівнянні з нейтральними або лужними значеннями, оскільки виникають ефекти вилуговування важких металів з порід і перехід їх в мобільну форму [25].

Підвищення кислотності спостерігається в гірських породах, що містять мінерали, здатні до окислення, наприклад пірит (FeS). Відома проблема породних відвалів пов'язана, головним чином, з ендегеними реакціями окислення заліза і сірки, що обумовлено впливом атмосферних чинників і ферментативною активністю мікроорганізмів. Продуктами реакцій є тривалентне залізо, сульфати і протони водню, що вивільнюються і знижують рН порід до 3,5-4,0 і нижче. Атмосферні опади, що стікають по поверхні відвалів породи, мають рН від 1,9 до 3,1 і містять великі кількості заліза та інших важких металів [25]. Дослідженнями встановлено, що при таких значеннях рН зростання багатьох рослин пригнічено [26].

Форма насипних масивів порід і експозиція схилів. Форма і експозиція схилу значно впливають на приживлюваність деревних форм рослинності.

Умови найбільш сприятливі біля підніжжя породних відвалів і на нижніх частинах схилів, де більше вологи, а також частинок ґрунту, привнесених в результаті ерозійних процесів [27], [28]. На схилах відвалів рослинність відчуває нестачу вологи і схильна до впливу схилових процесів, таких як водна ерозія, переміщення частинок поверхневого шару порід тощо. [29].

Крутизна схилів визначає інтенсивність процесів водної ерозії, і накопичення органічної речовини в нижній частині схилів. Однак слід враховувати, що в процесі вилуговування сольових компонентів з верхніх частин схилу біля підніжжя відвалу може відбуватися акумуляція токсичних речовин, що пригнічують біоту. Також важлива експозиція схилу по відношенню до сторін горизонту. Південні схили отримують більше денного світла, але інтенсивність випаровування на таких ділянках вище, що може бути вирішальним при підборі асортименту деревно-чагарникової рослинності [28].

Біорізноманіття флори і фауни є індикатором стійкості та продуктивності екосистеми. Різноманітне співтовариство живих організмів обумовлює більш складну їх взаємодію в екосистемі. Конкурентні відносини всередині популяцій, видів і між різними видами рослин і тварин на окремій території сприяють послідовній зміні біоценозів (сукцесії), внаслідок чого через певний проміжок часу розвивається динамічна і стійка екосистема. При підборі асортименту деревно-чагарникових і трав'янистих видів для фіторекультивациі перевага віддається рослинам невибагливим і помірно вимогливим до якості ґрунту, що виростають на бідних ґрунтах та виносять сухість субстрату [29].

Досвід рекультивациі породних відвалів Центрального Донбасу доводить, що посадка деревних культур безпосередньо після припинення діяльності шахти є малоєфективним заходом через відсутність ґрунтового покриву, а також присутності важких металів і токсичних сполук, які пригнічують нормальний ріст рослин. Деревні породи не забезпечують повного припинення ерозії, яка припиняється тільки на повністю задернованих ділянках старих відвалів на схилах з крутизною до 35°.

Для створення сприятливого підґрунтя і посадки швидкоростучих деревних культур доцільно спочатку створити на породному відвалі штучний фітоценоз, що складається з типових для даної місцевості трав'янистих рослин.

З 1996 по 2000 роки вивчалоя видове різноманіття рослинності породного відвалу ліквідованої шахти «Селидівська» ДХК «Селидівугілля» [29]. В якості об'єктів дослідження служили точки породного відвалу, що відрізняються експозицією схилу і вертикальним розташуванням: підніжжя відвалу (в т.ч. водовідвідні канали по периметру нижньої основи відвалу); технологічна дорога на відвал (узбіччя, водовідвідні канали); нижні (більш вологі) схили; верхні (посушливі) схили, укуси; пагорби неспланованої породи на майданчиках складування; западини, вирви та виїмки на майданчику складування породи; вершина відвалу.

Досліджуваний породний відвал є плоским, без нарізаних терас. Від промайданчика шахти прокладена автомобільна дорога, по якій автотранспортом вивозилася породна маса. На відвалі збереглося два майданчики для складування і планування породи.

Зазвичай процес самозаростання відвалів триває декілька десятків років після його відсипання. Однак ще до закриття шахти в деяких місцях відвалу спостерігалася рослинність, яка була представлена окремими деревами (акація біла, тополя чорна, ясен зелений), невеликими чагарниками (шипшина звичайний, бузина чорна), а також бідною трав'янистою рослинністю в основному по периметру нижньої основи відвалу вздовж водовідвідних каналів. Протягом декількох років після припинення діяльності шахти поверхня породного відвалу порівняно швидко заселялася первинною рослинністю, типовою для степової та лісостепової зони. Домінуючими видами рослинних угруповань стали сорно-рудеральні сміттєві види, а також дикі злаки, які мають потужну кореневу систему.

На початковій стадії самозаростання породна маса містить мало необхідних елементів мінерального живлення, що і зумовило бідне видове різноманіття в перші роки після припинення відсипання породи. У 1996 році на майданчиках складування породи, на вершині та на схилах ще не спостерігалася рослинність. Найбільш задерненими були східні і південно-східні схили, що пояснюється їх експозицією та переважаючим напрямком вітрів. У міру збільшення покриття поверхні відвалу рослинами збільшувався їх вплив на середовище. Найбільш інтенсивно піддалися самозаростанню технологічна дорога на відвал, по обидва боки якої сформувалася сорно-рудеральна (сміттєва) рослинність, яка є постійним супутником людини. Рясний рослинний покрив зустрічається і вздовж водовідвідних каналів по периметру нижньої основи відвалу, де стали активно завойовувати територію дерновинні і кореневищні дикі злаки, а також чагарники (шипшина звичайна, бузина чорна) і дерева (акація біла, тополя чорна). Протягом періоду досліджень тенденція самозаростання відвалу зберігалася і зелений покрив збільшувався як в кількісному, так і в якісному відношенні за рахунок поселення нових видів.

На відвалі сформувалася стійка зональна рослинність, особливо на вершині відвалу, характерна для степової зони. Передбачається, що розвиток подібного біогеоценозу пов'язаний з діяльністю вітру. Відвал розташований на рівнині і оточений сільгоспугіддями. За даними метеорологічної служби, в досліджуваній місцевості вітрова активність досить висока та середня швидкість варіює в діапазоні $v=3...6$ м/с. Превалюють вітри східного напрямку. В результаті вітрової ерозії на поверхню відвалу наносився шар чорнозему з прилеглих полів. Накопиченню чорнозему також сприяла первинна рослинність, за допомогою якої затримувалися частинки родючого ґрунту.

Природний рослинний покрив даної степової зони утворений переважно багаторічними травами, добре пристосованими до сухого клімату. Фітоценоз породного відвалу неоднорідний як за зовнішнім виглядом, так і за складом рослин. Основу рослинного покриву складають представники сімейства Злаків, Бобових, Складноцвітих і Хрестоцвітих (*Додаток А*).

Біля підніжжя відвалу відзначається досить високий показник видової насиченості (кількість видів рослин, що припадають на одиницю площі), 5...11 видів на 1 м². Домінуючими видами є багаторічні трави сімейства Злаків і

Бобових (пирій повзучий, прибережниця солончакова, очерет звичайний, люцерна серповидна, горішок мишачий, акація біла). Кореневищні дикі злаки є невибагливими рослинами, мають потужну кореневу систему і здатні швидко розростатися в усіх напрямках, захоплюючи нову територію. Важливу роль виконують також дерновинні злаки, що утворюють щільні дерновини, частково занурені в ґрунт, частково підносяться над поверхнею. Дерновини містять відмерлі залишки старих стебел і мають властивість енергійно вбирати атмосферну вологу і довго її утримувати. Дерновинні злаки здатні утримувати породну масу на схилах відвалу, зміцнюючи їх і тим самим перешкоджати оповзанню схилів, ерозійним процесам, а також сприяти укоріненню деревно-чагарникових видів. По всьому периметру нижньої основи відвалу, особливо уздовж водовідвідних канав, спостерігається велика кількість видів з сімейства Складноцвітих, багато з яких є лікарськими рослинами (полин звичайний, цикорій звичайний, деревій звичайний, кульбаба лікарська, чортополох кучерявий, татарник колочий, пижмо звичайне).

Технологічна дорога на відвал представляє особливий інтерес, тому що вздовж її узбіч виростають переважно сміттєві рослини, що мають здатність утворювати величезну кількість насіння, що дозволяє їм виживати в найскладніших умовах (амброзія полинолиста, пирій повзучий, лобода біла, осот польовий, полин гіркий, полин звичайний, грицики, війник наземний, кульбаба лікарська, горець пташиний, осот польовий, суріпиця звичайна та ін.). Видова насиченість тут становить 0...5 видів на 1 м². Придорожні рослини мають характерні риси, що дозволяють їм переносити ущільнення ґрунту. Це, в основному, низькорослі трави, стебла яких стеляться по поверхні ґрунту (наприклад, у споришу), а листя нерідко можуть бути зібрані в притиснуті до землі розетки (кульбаба звичайна).

Схили відвалу, що мають крутизну 40...60°, відносно слабо задерновані. Найбільш багате розмаїття рослинності спостерігається на нижніх, більш вологих схилах, де флористичний склад схожий з аналогічним біля підніжжя відвалу. Крім злаків і бур'янів часто зустрічаються такі різнотравні види, як смілка звичайна, дескурайнія Софія, берізка польова, латук татарський, ромашка непахуча, талабан польовий, суріпиця звичайна і ін. На верхніх схилах відвалу умови для зростання більш складні, що пов'язано зі зменшенням кількості вологи і вітрової активності. Якщо на нижніх схилах видова насиченість досягає 9 видів на 1 м², то на верхніх схилах цей показник становить 0...3 види на 1 м². Тут оселилися найбільш пристосовані до даних умов і вельми невибагливі види, наприклад синяк звичайний, горець берізка, буркун лікарський, резеда жовта, берізка польова.

На відвалі зберегти 2 майданчики для складування породи на рівні +28 м (нижня площадка) і +40 м (вершина відвалу). На нижньому майданчику після ліквідації шахти залишилися бурти неспланованої породи, а також купи будівельного сміття, що і зумовило ріст специфічної рослинності. На буртах неспланованої породи домінуючим видом є бур'янистої злак вівсюг (овес порожній), який росте в симбіозі з мохом зозулиним льоном, а також є польові бур'яни. У пониженнях і ямах між пагорбами породи на нижньому майданчику

зустрічаються ті ж рослини, що і на нижніх схилах відвалу. Видова насиченість на пагорбах неспланованої породи досягає 0...4 види на 1 м², у низинах та западинах – 2-6 видів на 1 м².

На вершині відвалу за досліджуваній період сформувався потужний трав'яний покрив типовий для заливних заплавних лугів, що само по собі є цікавим фактом, враховуючи, що висота відвалу становить 40 м. Основні види-домінанти: цикорій звичайний, молочай кипарисовий, смілка звичайна, пірій повзучий, жовтушник левкоїний, серадела маленька, пижмо звичайна, полин гіркий, полин звичайний, кульбаба лікарська, деревій звичайний, грицики, ромашка непахуча, щавель кінський. Слід зауважити, що лугова рослинність має певні вимоги до ґрунтової вологості. Ці рослини є в основному мезофітами, тобто не переносять як сильного осушення ґрунту, так і тривалого її перезволоження. Вони також дуже вибагливі до ґрунтового харчування і вважають за краще зазвичай ґрунти багаті на поживні речовини. На даному об'єкті велика кількість поживних речовин забезпечується накопиченням на поверхні частинок родючого ґрунту з прилеглих сільгоспугідь в результаті оолової активності.

Поряд зі степовими травами на верхньому плато багато звичайних лугових трав, характерних для лісостепової зони, підзони лугових степів. Тут сформувався тип рослинності характерний для заплавних лук з помірно зволженими родючими ґрунтами. Одним з видів-домінантів є очерет звичайний, який утворює густі зарості. На вершині відвалу склався стійкий біогенез з високою видовою насиченістю – 7...12 видів на 1 м².

Велика розмаїтість рослин сімейства Бобових, таких як люцерна серповидна, горошок мишачий, чина лугова, лядвенець рогатий та ін. Їм належить важлива роль в поліпшенні первинних екоотів. Ці рослини мають здатність за допомогою бульбочкових бактерій фіксувати атмосферне азот і перетворювати його в сполуки азоту, доступні для засвоєння іншими рослинами. Таким чином вони сприяють збагаченню ґрунту і створенню сприятливих умов для зростання інших видів рослин. Бобові мають також високі життєві та продуктивні показники на субстратах шахтних відвалів.

З деревної рослинності на поверхні породного відвалу переважає акація біла, типова рослина лісосмуг. Зустрічаються також тополя чорна, ясен зелений, абрикос звичайний. Деревя ростуть окремо, в основному біля підніжжя відвалу і майданчиках складування породи. Висота дерев становить 0,7...3,2 м. Кілька примірників ростуть на крутих схилах, майже не покритих рослинністю. З чагарникової рослинності виростають, в основному, шипшина звичайна і бузина чорна уздовж нижньої основи відвалу (*Додаток Б*).

Флористичний склад породного відвалу багатий і різноманітний, про що свідчить висока видова насиченість рослинного покриву. Якщо для степів південної і південно-східної зони України видова насиченість становить в середньому 12...15 видів на 1 м², то, наприклад, для вершини відвалу цей показник становить 7...12 видів на 1 м². Цей факт свідчить про те, що після припинення експлуатації породних відвалів при певних кліматичних умовах може відбуватися довільне самозаростання їх поверхні типовими для даної

місцевості рослинними співтовариствами.

Встановлено, що процес заселення поверхні породного відвалу рослинністю при певних метеорологічних умовах може протікати спонтанно, без участі людини, протягом тривалого часу. Однак, цей природний процес може бути прискорений за допомогою цілеспрямованого посіву вищеописаних рослин. Таким чином, біологічний етап рекультивації може бути здешевлений завдяки природній відновній здатності природно-техногенного ландшафту. Найбільш перспективними рослинами для посіву на поверхні породних відвалів є види родини бобових, такі як люцерна серповидна, горошок мишачий, чина лугова, лядвенець рогатий та ін., які здатні поліпшувати якість породного субстрату, створюючи тим самим сприятливі умови для зростання дерев і чагарників [29].

Підбір деревно-чагарникової рослинності для фіторекультивації. Древа і чагарники для рекультивації повинні бути невибагливі до умов зростання на техногенних землях, легко адаптуватися до негативних факторів середовища, витримувати міжвидову конкуренцію і зберігати здатність до розмноження. Перевага віддається видам здатним фіксувати атмосферний азот, виносити нестачу поживних речовин і високі концентрації токсичних сполук. Також хорошим варіантом лісотехнічної рекультивації може бути застосування видів дерев типових для даної місцевості внаслідок їх еволюційної адаптації.

Роль піонерних спільнот. Розвиток стійкого фітоценозу є довготривалим процесом, тому на перших стадіях колонізації техногенно-порушених земель зокрема укосів формуються піонерні спільноти рослинності, роль яких полягає в первинному накопиченні органічної речовини. Древа і чагарники виробляють значну кількість листового опаду, що сприяє формуванню ґрунтового субстрату [28]. Враховуючи особливості лісотехнічної рекультивації земель в гірничодобувних регіонах слід враховувати не тільки закріплення укосів, але і повне відновлення техногенних ландшафтів, як стабілізацію схилів і контроль ерозійних процесів, так і створення умов для розвитку стійкої і повноцінно функціонуючої природної екосистеми [15].

4.5. Розробка методики стабілізації техногенних укосів породних відвалів дерновими матами

Однією з найскладніших завдань фіторекультивації породних відвалів є озеленення їх поверхні, зокрема укосів. На укосах породних відвалів ліквідованої вугільної шахти «Селидівська» ДХК «Селидіввугілля» та діючої шахти «Україна» ДХК «Селидіввугілля» було виконано низку експериментів з інтродукції рослинності, специфічних для даної місцевості.

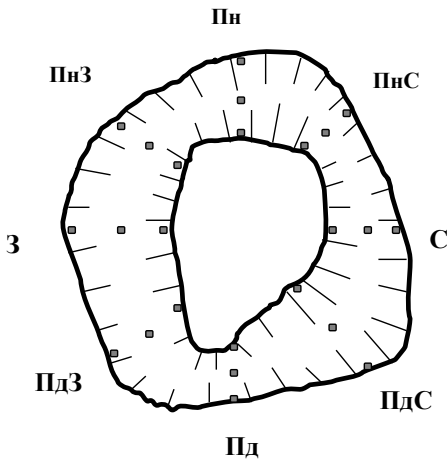
Мета дослідження полягала в оцінці приживлюваності рослинних угруповань у вигляді дернових матів на поверхні укосів породних відвалів та доцільності використання даного методу в якості фіторекультиваційного заходу.

Метод інтродукції дернових матів полягає в нанесенні на схили породного відвалу прямокутних шматків дерновин з природною рослинністю, відібраних в

яружно-балочній мережі. Покриття порушених ділянок шаром дерновинних рослин, представлених переважно дикими злаками з потужними кореневими системами, дозволяє досить швидко встановити штучний фітоценоз на ділянках, позбавлених рослинного покриву [28]. Дерновий покрив сприяє розпушуванню ґрунту і дренажу, що важливо для усунення схилової водної ерозії.

Шахта «Селидівська» ДХК «Селидіввугілля» експлуатувалася з 1963 року, була ліквідована в 1996 році. На території шахти розташований породний відвал площею 18 га. Висота відвалу – 40 м. Об'єм закладованої породи – 5,4 млн м³.

Поверхня схилу відвалу умовно розбивалася на 8 ділянок відповідно до сторін горизонту (рис. 4.14). На кожній з ділянок вздовж схилу вибиралися 3 точки, розташовані на рівні верхньої, нижньої основ і середньої лінії відвалу. Таким чином, на 24 обраних ділянки наносилися зразки дернових матів з трав'янистою рослинністю, які відбиралися зі схилів прилеглих балок.



Умовні позначення:

- ділянки інтродукції зразків рослинності

Експозиція укосів відвалу:

- Пн – північ;
- ПнС – північний схід;
- С – схід;
- ПдС – південний схід;
- ПдС – південь;
- ПдЗ – південний захід;
- З – захід;
- ПнЗ – північний захід

Рис. 4.14 – Схема інтродукції дернових матів на поверхню схилів відвалу

Середні розміри зразків з трав'янистою рослинністю склали 50x50 см. Для запобігання небажаному сповзанню зразків на поверхні схилу їх заглиблювали в спеціальні поглиблення відповідно до розмірів. Середня глибина занурення дернових матів складала 5...7 см. Зразки дернових матів з рослинністю відбиралися зі схилів поруч розташованих ярів та балок. З огляду на те, що видовий склад рослинності яружно-балочної мережі вздовж схилу є неоднорідним, зразки з верхніх, середніх і нижніх ділянок схилу наносилися на відповідні ділянки схилів породного відвалу.

У червні-місяці був проведений аналіз посівів на приживлюваність зразків

до породного субстрату. Результати аналізу наведені в *Додатку В*.

Аналізуючи результати експерименту, можна зробити висновок, що нижня частина схилів, що збігається з контуром нижньої бровки відвалу, є сприятливим середовищем для зростання рослин, а також для цілеспрямованої фіторекультивациі методом інтродукції дернових матів.

Виходячи з результатів дослідження, потрібно відзначити, що нижні схили породного відвалу є потенційно родючим субстратом лише в тому випадку, якщо відвал не схильний до горіння і на ньому протягом тривалого часу не проводиться відсипання породи. Протягом декількох років після припинення експлуатації відвалу в поверхневому шарі породної маси, особливо на схилах, інтенсивно протікають процеси вилуговування кислотних і сольових компонентів, що присутні в породі. Наявність цих хімічних компонентів є основним лімітуючим фактором, що обмежує приживлюваність і ріст рослин. Згодом концентрація агресивних речовин зменшується в результаті процесів вилуговування та водної ерозії і породна маса поступово стає потенційно придатним середовищем для заселення і зростання різних форм рослинності [28]. З моменту припинення відсипання породної маси пройшло 5 років і значну частину токсичних солей було вимито з поверхневого шару породи на схилах відвалу. Середні значення рН витяжки породного субстрату в різних точках відвалу варіюють в діапазоні 5,0...6,6, що загалом відповідає рівню кислотності потенційно родючих ґрунтів.

В результаті обстеження схилів відвалу виявилось, що на верхньому і нижньому ярусах умови зростання рослинності виявилися найбільш сприятливими, про що свідчить значне видове різноманіття. На середніх ярусах рослини прижилися слабо. Тільки на південних схилах відзначено задовільний ріст рослинних угруповань.

Серед більшої зразків верхнього і нижнього ярусів простежується тенденція до розширення їх ареалів. По контуру дернових матів є різної потужності ґрунтові наноси з довколишніх сільгоспугідь в результаті вітрової ерозії. Однак ці наноси можуть легко змиватися, особливо з поверхні середнього ярусу, атмосферними опадами і переноситися до нижнього основи. Згодом досліджувані ділянки рослинності можуть засмічуватись частинками породи в результаті процесів водної ерозії, що може привести до їх пригнічення і загибелі. Таким чином, інтродукція дернових матів для середніх ярусів породних відвалів не є ефективним способом фіторекультивациі.

Верхній ярус рослинності проходить уздовж контуру верхнього підстави відвалу, на вершині якого сформувався фітоценоз, характерний для болотних і лугових екосистем. Видовий склад фітоценозу детально розглянуто в роботі [29]. За даними вимірів потужність родючого шару на вершині коливається в межах 8...12 см. Приживлюваність рослинності на верхньому ярусі виявилася нижче, ніж на нижньому внаслідок недостатнього вмісту вологи в породному субстраті, але значно вище, ніж на середньому ярусі. Це пояснюється наявністю на вершині відвалу саморегулюючої, стійкої функціонуючої екосистеми з великою видовий насиченістю флори і фауни, що зробило позитивний вплив на хорошу приживлюваність рослинних угруповань.

На південних, південно-східних і південно-західних схилах спостерігається більше біорізноманіття, що обумовлено експозицією схилу.

Аналогічні експерименти по інтродукції дернових матів були проведені в 1999 році на породному відвалі діючої шахти «Україна» ДХК «Селідовугілля» з метою вивчення приживлюваності і адаптації рослинності на породах з агресивними властивостями. Відвал, що займає площу близько 36 га, схильний до самозагоряння. Найбільш інтенсивні осередки горіння зосереджені на західних схилах і на поверхні, де проводиться відсіпання шахтної породи від прохідницьких ділянок і збагачувальної фабрики.

По нижньому контуру відвалу вздовж водовідвідної канами в спеціально вириті лунки розміром 20х20 см були посаджені 12 молодих саджанців акації білої, взяті разом із земляним шаром. Акація є найбільш пристосованим видом деревної рослинності і здатна переносити багато екстремальні фактори середовища, такі як засолення ґрунтів, низькі значення рН, підвищена загазованість території тощо.

Крім деревних форм на схили було нанесено 8 дернових матів розміром 30х30 см, відібраних безпосередньо біля підніжжя відвалу. Результати інтродукції рослинності наведені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Результати експерименту по інтродукції дернових матів на поверхню схилів породного відвалу шахти «Україна» ДХК «Селідовугілля»

Експозиція схилу	Саджанці акації білої	Дернові мати	Середні значення рН у водовідвідних канавах
	Висаджено/прижилося, од.	Висаджено/прижилося, од.	
Пн	1/1	1/1	4,2
ПнС	*Н	Н	4,0
С	1/0	Н	3,5
ПдС	2/1	1/1	4,2
Пд	2/2	2/1	4,0
ПдЗ	3/0	2/0	3,2
З	2/0	1/0	3,0
ПнЗ	1/0	1/0	3,5
Всього	12/4	8/3	

*Н – інтродукція рослинності не виконувалась.

На схилах відвалу, що горять, внаслідок процесів водної ерозії відбувається міграція кислотних компонентів, які утворюються при окисленні піритної сірки (середній вміст сірки в породній масі становить 2,5...3%).

Активні термохімічні процеси в породній масі, що протікають на схилах, обумовлюють високу агресивність порід, а значить їх непридатність для фіторекультивації, яка повинна проводитися тільки після виконання комплексу відповідних профілактичних заходів з гасіння та локалізації вогнищ горіння,

нейтралізації ділянок з підвищеною кислотністю, відсипання потенційно родючим шаром тощо. Без проведення заходів щодо біологічної рекультивації знадобиться чимало часу на процес вилиговування кислотних компонентів і солей металів (в основному сульфідів, сульфатів і хлоридів) з породної маси, після чого почнеться процес природного заростання відвалу рослинністю.

Недолік застосування методу інтродукції дернових матів полягає в тому, що при нанесенні на субстрат дернові мати спочатку недостатньо щільно пов'язані з нижнім породним субстратом, що може привести до сповзання їх зі схилів відвалу і розриву. Інший недолік полягає в потребі нанесення значної кількості дернового покриття на поверхню відвалів, що створює додаткову проблему щодо пошуку та вилучення рослинної сировини з природних фітоценозів [28].

Описаний вище і випробуваний на практиці метод рекультивації схилів породних відвалів є перспективним напрямком рекультивації породних відвалів ліквідованих вугільних шахт. Застосування даного методу дозволить прискорити процес природного відновлення природно-техногенного ландшафту і мінімізувати викиди частинок пилу з поверхні породних відвалів.

4.6. Створення мікротерас для фіторекультивації укосів породних відвалів

Породні відвали ліквідованих вугільних шахт після припинення їх експлуатації ще тривалий час продовжують забруднювати навколишнє середовище внаслідок процесів водної та вітрової ерозії. Щоб уповільнити або усунути ці процеси проводиться комплекс рекультиваційних робіт. Одним з перспективних способів зниження негативного впливу на навколишнє середовище відвалів є створення мікротерас на схилах з одночасним посівом трав'янистої рослинності.

Метод мікротерас є відносно новим і полягає в нарізці невеликих терас поперек схилу з паралельним посівом трав'янистої рослинності. Мікротераси ефективно запобігають процесам водної ерозії, однак метод має обмеження і застосовується для рекультивації схилів з невеликим кутом нахилу, наприклад, сильно еродованих ділянок сільгоспугідь, рекреаційних зон тощо. Для проведення терасування потрібна спеціальна техніка та обладнання.

Мета дослідження полягає в експериментальному підтвердженні доцільності застосування методу створення мікротерас на схилах породних відвалів. В якості об'єкту для експерименту обрано породний відвал ліквідованої шахти «Селидівська» ДХК «Селидіввугілля». На поверхні укосу відвалу були обрані 2 ділянки з ерозійними каналами.

Перша ділянка розташована на північно-східному схилі, де ерозійний канал відносно невеликий. Другий канал середніх розмірів знаходиться на східному схилі. Розміри каналів з інтервалом в 5 м наведені в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Розміри ерозійних каналів на схилах породного відвалу шахти

Довжина схилу, м	Північно-східна експозиція схилу		Східна експозиція схилу	
	ширина, см	глибина, см	ширина, см	глибина, см
*0	4	2	8	6
5	6	3	11	9
10	7	4	19	12
12	8	5	-	-
15	-	-	24	17
20	-	-	27	18
23	-	-	31	19

Примітка. *Нульовою відміткою є початок ерозійного каналу.

Вибрані ділянки з ерозійними каналами оконтурювати в формі рівнобічної трапеції, верхня основа якої збігається з нульовою відміткою, а нижня – з нижньою основою відвалу. На першому етапі робіт порожнину каналу засипали породою. Для усунення водної ерозії на схилах необхідно виявити шляхи міграції водних потоків на верхній відвалу або верхніх терасах, якщо відвал терасується. Тому на другому етапі для запобігання потрапляння потоків води в ерозійний канал перед його гирлом був споруджений загороджувальний вал з породної маси. На третьому етапі поперек схилу нарізалися мікротераси за допомогою клиноподібної лопати. Ширина мікротерас 10...30 см, інтервал – 30 см вздовж схилу, кутом нахилу 5...10° (рис. 4.15).



Рис. 4.15 – Схема нарізки мікротерас на схилі породного відвалу:
а – загальний вигляд; б – профіль

Дослідження складалося з 3 етапів: засипки порожнин каналів породою, спорудженні перед гирлами каналів загороджувальних валів з породної маси, нарізки мікротерас шириною 10 см під кутом 5...10° з інтервалом 30 см вздовж схилу. На мікротерасах проводився одночасний посів трав'янистої рослинності (22 види), специфічною для балочно-яружної мережі даної місцевості (Додаток В). У червні-місяці при аналізі результатів експерименту виявилось, що мікротераси частково розмиті і згладжені в результаті процесів водної ерозії, але їх загальний профіль зберігся. При вивченні видового складу

рослинності, пророслої на схилах, виявилось, що приживлюваність рослин на верхніх, середніх і нижніх частинах схилів становить 20, 10 і 35%, відповідно від загальної експериментальної площі. На верхніх і особливо на нижніх частинах схилів прижилися представники сімейства Бобових, що особливо важливо в зв'язку з їх азот фіксуючою функцією і здатністю збагачувати породний субстрат поживними речовинами. Добрі сходи дали дикорослі злаки, які завдяки потужним дерновинам, стабілізують поверхню схилів. На нижніх частинах схилів відзначено найбільшу кількість видів рослин, основна маса яких представлена родинами Злаків, Бобових, Складноцвітих. Найменше біорізноманіття зафіксовано на середніх частинах схилів і представлено в основному дикорослими злаками. Частина мікротерас (45-50%) залишилися позбавленими рослинності, незважаючи на велику щільність посіву та велику кількість насіннєвого матеріалу, але незважаючи на цей факт, метод доцільно використовувати в комплексі фіторекультивацийних робіт.

У червні-місяці при аналізі результатів експерименту виявилось, що мікротераси частково розмиті і згладжені в результаті процесів водної ерозії, але їх загальний профіль зберігся. При вивченні видового складу рослинності, пророслої на схилі, були виявлені такі закономірності:

1. На верхній частині схилу прижилися деякі види сімейства Бобових (горошок мишачий, буркун лікарський, лядвенець рогатий), що особливо важливо в зв'язку з їх азотфіксуючою функцією і здатністю збагачувати субстрат мінеральними речовинами. Добрі сходи дали дикорослі злаки, такі як вейник наземний, багаття безосте, вівсюг, прибережниця солончакова, пирій повзучий. Злаки мають потужні дерновини, завдяки чому стабілізується поверхня схилу. Зустрічаються також бур'яни (кульбаба лікарська, осот польовий, цикорій звичайний та ін.);

2. На середніх частинах схилу біорізноманіття значно менше і представлено, в основному, вище переліченими дикорослими злаками, а також бур'янами, які є типовими для пустирів, смітників, схилів балок (буркун лікарський, жовтушник левкоїний, грицики звичайні, талабан польовий, осот польовий та ін.);

3. На нижній частині схилу відзначено найбільшу кількість видів рослин, основна маса яких представлена рослинами сімейства Злаків (багаття безосте, пирій повзучий, вейник наземний), Складноцвітих (цикорій звичайний, пижмо звичайне, полин гіркий, кульбаба лікарська, деревій звичайний, осот польовий,) Бобових (люцерна серповидна, горошок мишачий) і ін.

Значна частина мікротерас (приблизно 35% для північно-східного схилу і 55% для східного) залишилися позбавленими рослинності незаселеними рослинами, незважаючи на велику щільність посіву та велику кількість насіннєвого матеріалу (22 види). Причин може бути декілька: експозиція схилів, недолік або відсутність поживних речовин в породній масі, змив або вивітрювання частини насіння з поверхні схилу тощо. Однак навіть такі результати свідчать про доцільність застосування методу нарізки мікротерас з паралельним посівом багаторічних трав в комплексі фіторекультивацийних робіт. Подібні первинні рослинні угруповання є своєрідним піонерним

фітоценозом, який сприятиме подальшій індукції процесу природного заростання схилів відвалу типовою для регіону рослинністю. Важлива роль піонерних видів на техногенних ландшафтах полягає в уловлюванні частинок потенційно родючого субстрату, що потрапляє на схили з прилеглих територій, збагаченні породної маси органічними і мінеральними речовинами, а отже в створенні сприятливих умов для зростання більш складних рослинних форм.

Описаний вище і випробуваний на практиці метод рекультивації схилів породних відвалів є перспективним напрямком рекультивації породних відвалів ліквідованих вугільних шахт. Застосування даного методу дозволить значно знизити витрати на проведення рекультиваційних робіт; мінімізувати і в недалекій перспективі повністю усунути викиди твердих частинок пилу з поверхні породних відвалів; прискорити процес відновлення природно-техногенного ландшафту.

Перелік літературних джерел до розділу 4

1. Ракішев Б. Р., Шашенко О. М., Молдабаєв С. К., Ковров О. С. Застосування багатofакторних номограм для оцінки стійкості укосів та відвалів. *Науково-технічний та виробничий журнал «Гірський вісник Узбекистану»*. 2015. № 2. С. 12-18.

2. Ракішев Б. Р., Шашенко О. М., Ковров О. С. Геомеханічна оцінка стійкості бортів кар'єрів та відвалів : монографія / за заг. ред. Ракішева Б.Р. Алмати : «Гилім», НАН РК, 2017. 234 с.

3. Duncan, C. Wyllie, Christopher, W. Mah. (2005). *Rock Slope Engineering: Civil and Mining. 4th ed. Taylor & Francis e-Library*, London and New York.

4. Seituly, K., Shashenko, A. N., Kovrov, O. S. (2014). Modern approaches to slope stability valuation while surface mining. *Scientific Bulletin of the National Mining University*, 5, 51-57. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvngu_2014_5_11.

5. Єриш І. Ф., Соломатін В. М. Зсуви Криму. Ч. 1, 2. Історія вітчизняного зсуву. Сімферополь : Апостроф, 1999. 249 с.

6. Кіряк К. К. Моделювання зсувного схилу методом кінцевих елементів : [36. наук. праць] / Донбаський державний технічний університет. Алчевськ : ДонДТУ, 2011. Вип. 35. С. 257-266.

7. Аносова Л. А. Коробанова І. Р., Копилова А. Д. Закономірності формування зсувних відкладень. Москва : Вид-во «Наука», 1996. Т. 1. 184 с.

8. Зуска А. В., Горбатих О. Л. Застосування геодезичного моніторингу ефективності захисних споруд та стану схилів балок з метою запобігання зсувним процесам. *Науковий вісник Національного гірничого університету*. 2010. № 11-12. С. 25-32.

9. Державні будівельні норми України. ДБН В.1.1-24:2009. Захист від небезпечних геологічних процесів. Основні положення проєктування. Видання офіційне. Київ : Мінрегіонбуд України. 2010. 50 с.

10. Griffiths, D. V., Lane, P. A. (1999). Slope stability analysis by finite elements. *Geotechnique*, 49 (3), 387-403.

11. Державні будівельні норми України. ДБН В.1.1-24:2009. Захист від небезпечних геологічних процесів. Основні положення проєктування. Видання

офіційне. Київ : Мінрегіонбуд України. 2010. 50 с.

12. Сдвижкова О. О., Ковров А. С., Кіряк К. К. Геомеханічна оцінка стійкості зсувного схилу методом кінцевих елементів. *Науковий вісник Національного гірничого університету*. 2014. № 2. С. 86-92.

13. Manual for Phase 2D elasto-plastic finite element program for slope and excavation stability analyses: Slope Stability Verification Manual. Part III. Toronto, Ontario: Rocscience Inc. 2015. 47 p. Internet access: https://www.rocscience.com/help/phase2/webhelp9/pdf_files/verification/Phase2_SlopeStabilityVerification_Part3.pdf.

14. Кіряк К. К. Моделювання зсувного схилу методом кінцевих елементів : [Зб. наук. праць] / Донбаський державний технічний університет. Алчевськ : ДонДТУ, 2011. Вип. 35. С. 257-266.

15. Ковров О. С. Екосистемний підхід при лісотехнічній рекультивациі техногенних ландшафтів. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*, 2013. № 40. С. 194-203. <http://znp.nmu.org.ua/pdf/2013/40.pdf>.

16. Красильников П. К. Классификация корневых систем деревьев та чагарников. Київ : Лісознавство. 1970. № 3. С.35-44.

17. Rakishev, B. R., Shashenko, A. N., Kovrov, O. S. (2016). Geomechanical Assessment of Trees and Shrubs Rootage Reinforcing Properties on Slope Stability. *International Symposium on Environmental Issues and Waste Management in Energy and Mineral Production (SWEMP 2016)*, Istanbul, October 5-7, 2016. P. 1-5.

18. Ракішев Б. Р., Ковров О. С., Федотов В. В. Геомеханічна оцінка армуючих властивостей корневих систем деревної рослинності на схилах та техногенних укосах. *Розробка родовищ корисних копалин*. 2015. С. 355-362. <https://doi.org/10.15407/mining09.03.355>.

19. Ковров О. С. Моделювання стійкості борту кар'єру шляхом кінцевих елементів. Форум гірників-2010 : Матеріали міжнар. конф. 21-23 жовт. 2010 рік. Дніпропетровськ : Національний гірничий університет, 2010. Т. 2. С. 94-102.

20. Півняк Г. Г., Ковров О. С., Череп А. Ю. Сучасна роль університетів ресурсів у забезпеченні стійкого екологічного розвитку гірничовидобувних регіонів. *Науковий вісник Національного гірничого університету*. 2013. № 1. С. 77-83.

21. Ковров А. С., Федотов В. В. Проблема оползней в контексте стратегии устойчивого развития территорий. Менеджмент, маркетинг, предпринимательство : способствование устойчивому развитию : Матер. науч.-практ. конф. (25-26 декабря 2014). Днепропетровск-Коттбус : НГУ-БТУ. Днепропетровск : Акцент, 2015. С. 68-70.

22. Ракишев Б. Р. Прокопенко В. И., Череп А. Ю., Ковров А. С. Особенности горнотехнической рекультивации нарушенных земель при разработке группы карьеров. *Доклады Национальной академии наук Республики Казахстан*, Алматы, 2017. № 4. С. 66-73.

23. Gray, D. H. (1995). Influence of vegetation on the stability of slopes. pp. 1-24. In : D. H. Barker (ed.), *Vegetation and Slopes : Stabilization, Protection and Ecology*, Inst. Civil Eng., London.

24. Haigh, M. J. (2000). Reclaimed Land : Erosion Control, Soils and Ecology. A.A. Balkema/Rotterdam/Brookfield. 385 p.

25. Haigh, M. J. (1992). Degradation of 'reclaimed' lands previously disturbed by coal mining in Wales : causes and remedies. *Land Degradation and Rehabilitation*, 3, 169-180.

26. Ковров О. С. Усунення кислотного стоку з поверхонь породних відвалів. *Науковий вісник НГА України*. 2001. № 4. С. 87-94.

27. Ковров О. С. Управління процесами водної ерозії на території вугільних шахт, що ліквідуються. Раціональне використання рекультивованих та еродованих земель : Матер. міжн. наук.-практ. конф. : Дніпропетровськ-Орджонікідзе, 2002. Дніпропетровськ, 2002. С. 146-148.

28. Ковров О. С. Дослідження приживлюваності штучно інтродукованих рослинних угруповань на схилах породних відвалів. *Збірник наукових праць НДА України*. 2001. № 11. Т. 1. С. 113-119.

29. Ковров О. С. Дослідження видової різноманітності рослинності породного відвалу ліквідованої шахти «Селидівська». *Збірник наукових праць НДА України*. 2000. № 10. С. 78-83.

ВИСНОВКИ

Україна є країною з драматичними розвитками та викликами в політичній та соціально-економічній системі. Ці зміни відкривають перспективу тіснішої співпраці з Європейським Союзом у багатьох сферах, включаючи промисловість і науку, у найближчому майбутньому. Відповідність європейським стандартам у вищій освіті, науці та технологіях допоможе вирішити економічні, соціальні та екологічні проблеми та дозволить країні йти шляхом сталого розвитку.

Однією з найважливіших сильних сторін успішного розвитку України є різноманітність природних ресурсів. Країна займає 0,5% загальної території світу, але щороку видобуває близько 4% світових мінеральних ресурсів. Гірнична промисловість залишається дуже важливою промисловою галуззю української економіки, яка експортує за кордон багато корисних копалин, таких як залізо, марганець, титан і цирконій. Більшість цих корисних копалин видобувається шляхом гірничодобувних робіт, що мають шкідливі екологічні наслідки. Відвали, терикони, хвостосховища та шламосховища займають площу 160-180 тис. га, а площа зруйнованих земель щорічно збільшується на 5-7 га. Вугільні шахти Західного Донбасу (Дніпро, Центральна Україна) щорічно виробляють близько 2,0 млн тонн пустої породи, яка складається на прилеглих землях. На даний момент загальну тенденцію розвитку вугледобувної промисловості України можна оцінити як спадну через зменшення загального видобутку вугілля та гірничих робіт. За економічними прогнозами експертів, вугільна галузь буде стабільно закриватися до 2030-2035 років. Це логічно стирає екологічні проблеми, пов'язані зі звалищами з мільйонами тонн порожніх порід, які містять важкі (рідкісні та дорогоцінні) метали, напр. Ge, Hg, Cr, Cu, Cs, Pb, Se ($1,5-30 \text{ мг кг}^{-1}$, в аргілітах), Hg, Cr, Th, Pb, Se, Zn ($1,3-6,5 \text{ мг кг}^{-1}$, в алевролітах), Sb, Sn, Ba, Pb, Cu, Se ($10-150 \text{ мг кг}^{-1}$, в пісковиках). Отже, з одного боку, звалища є джерелами важких металів, з іншого боку, вони можуть бути джерелом довгострокової екологічної небезпеки. Крім того, безперервний скид мінералізованих шахтних вод у поверхневі водотоки суттєво впливає на гідрогеологічний режим і призводить до підвищення солоності поверхневих вод, забруднення річок органічними та мінеральними забрудненнями, деградації флори та фауни водних екосистем.

Загальна площа промислових територій України становить близько 224,7 тис. га, які мають значний вплив на екологічний фон. Високий рівень індустріалізації призводить до серйозних екологічних проблем, пов'язаних з небезпечними відходами промислового та комунального секторів, шкідливими викидами металургійних і хімічних заводів, стічними водами, забрудненими важкими металами та органічними сполуками. Ці екологічні проблеми будуть посилюватися, що потребуватиме відповідних оцінок, прогнозів і дій.

Основна проблема пов'язана з прогалинами в національній екологічній політиці щодо реабілітації покинутих шахтних земель; відсутність передового досвіду та сучасних технологій у сфері видобувної промисловості України; брак спеціалістів і молодих спеціалістів із достатньою академічною

підготовкою та практичними навичками у сфері післягірничих технологій, фіторе mediaції та рекультивації шахтних угідь, відвалів, хвостосховищ тощо з переведенням їх із техногенного стану в стійкий природний ландшафт.

Щоб бути добре підготовленими до майбутніх екологічних викликів, пов'язаних із стійким еколого-економічним розвитком, нам терміново необхідно: прийняти європейський досвід закриття шахт і найкращі практики інноваційних екологічних технологій Німеччини, Великобританії, Польщі, Іспанії, Угорщини та інших країн; впровадити європейські нормативні стандарти та ефективні процедури в академічне навчання для успішної підготовки кваліфікованих фахівців у сфері планування шахтних земель, рекультивації довкілля та впровадження екологічно чистих «зелених» технологій. Ці технології включатимуть підходи до фіторе mediaції шахтних земель, процеси біовилуговування, біологічне очищення шахтних вод, очищення газопилових викидів від різноманітних технологій тощо.

Відповідно до вищезазначеного, впровадження в широке практичне коло інноваційних екологічних технологій, які базуються на європейських стандартах якості довкілля, стане новим кроком до європейського майбутнього України.

ДОДАТКИ

























Видове розмаїття рослинності породного відвалу шахти «Селидівська»

Сімейство	Види рослин
Сім. Складноцвітні (Asteraceae)	Амброзія полинолиста (<i>Ambrosia artemisiifolia</i>), бодяк польовий (<i>Cirsium arvense</i>), козлобородник сумнівний (<i>Tragopogon dubius</i>), латук татарський (<i>Lactuca tatarica</i>), кульбаба лікарська (<i>Taraxacum officinale</i>), осот польовий (<i>Sonchus arvensis</i>), пижмо звичайне (<i>Tanacetum vulgare</i>), полин гірський (<i>Artemisia absinthium</i>), полин звичайний (<i>Artemisia vulgaris</i>), ромашка непахуча (<i>Matricaria inodora</i>), скерда болотна (<i>Crepis paludosa</i>), татарник колючий (<i>Oenopodium acanthium</i>), деревій звичайний (<i>Achillea millefolium</i>), цикорій звичайний (<i>Cichorium intybus</i>), чортополох курчавий (<i>Carduus crispus</i>).
Сім. Злаки Gramineae (Poaceae)	Вейник наземний (<i>Calamagrostis epigeios</i>), вейник тростинний (<i>Calamagrostis arundinacea</i>), костер безостий (<i>Bromus inermis</i>), мятлик луговий (<i>Poa pratensis</i>), вівсюг пустий (<i>Avena fatua</i>), вівсяниця желобчата, типчак (<i>Festuca sulcata</i>), вівсяниця лугова (<i>Festuca pratensis</i>), прибережниця солончакова (<i>Aeluropus litoralis</i>), пирій повзучий (<i>Agropyron repens</i>), тростник звичайний (<i>Phragmites communis</i>).
Сім. Бобові Leguminosae (Fabaceae, Papilionaceae)	Акація біла (<i>Robinia pseudoacacia</i>), горошок мишачий (<i>Vicia crassa</i>), донник лікарський (<i>Melilotus officinalis</i>), люцерна серповидна (<i>Medicago falcata</i>), лядвенець рогатий (<i>Lotus corniculatus</i>), сераделла маленька (<i>Ornithopus perpusillus</i>), чина лугова (<i>Lathyrus pratensis</i>).
Сім. Хрестоцвітні Cruciferae (Brassicaceae)	Дескурайнія Софія (<i>Descurainia sophia</i>), жовтушник левкоїний (<i>Erysimum cheiranthoides</i>), пастушача сумка звичайна (<i>Capsella bursa-pastoris</i>), ярутка польова (<i>Thlaspi arvense</i>).
Сім. Гвоздичні Caryophyllaceae	Смольовка звичайна (<i>Silene vulgaris</i>).
Сім. Гречишні Polygonaceae	Горець в'юнковий (<i>Polygonum convolvulus</i>), горець птичий, спориш (<i>Polygonum aviculare</i>), щавель густий чи кінський (<i>Rumex confertus</i>).
Сім. В'юнкові Convolvulaceae	В'юнок польовий (<i>Convolvulus arvensis</i>).
Сім. Резедові Resedaceae	Резеда жовта (<i>Reseda lutea</i>).
Сім. Бурачникові Boraginaceae	Синяк звичайний (<i>Echium vulgare</i>).
Сім. Молочайні Euphorbiaceae	Молочай кіпарисовий (<i>Euphorbia cyparissias</i>)
Сім. Мальвові Malvaceae	Хатьма тюрингєнська (<i>Lavatera thuringiaca</i>).
Сім. Лютикові Ranunculaceae	Живокость польова (<i>Delphinium consolida</i>).
Сім. Мареві Chenopodiaceae	Марь біла (<i>Chenopodium album</i>).






Якісна характеристика фітоценозів породного відвалу шахти «Селідовська»

Об'єкт, що досліджувався	Видове насичення, од/м ²	Домінантні види
Підніжжя відвалу (в т.ч. водовідвідні канами по периметру нижньої основи відвалу)	5...11	Костер безостий, пирій повзучий, люцерна серповидна, вейник очеретяний, вейник наземний, прибрежниця солончакова, горошок мишачий, цикорій звичайний, молочай кіпарисовий, тростник звичайний, жовтушник левкоїний, пижмо звичайне, полин гіркий, полин звичайний, кульбаба лікарська, скерда болотна, деревій звичайний, щавель кінський, бодяк польовий, чортополох курчавий, татарник колючий, акація біла, тополя чорна, ясен, шиповник звичайний, бузина чорна.
Технологічна дорога на відвал (обочина, водовідвідні канами)	0...5	Пирій повзучий, резеда жовта, козлобородник сумнівний, живокість польова, цикорій звичайний, жовтушник левкоїний, дескураїнія Софія, полин гіркий, полин звичайний, горець пташиний, кульбаба лікарська, латук татарський, осот польовий, пастушача сумка, ярутка польова, донник лікарський, синяк звичайний, марь біла, амброзія звичайна, бодяк польовий, чортополох курчавий, татарник колючий.
Нижні (більш вологі) схили	2...9	Вейник очеретяний, вейник наземний, вівсанниця жолобчата, смольовка звичайна, жовтушник левкоїний, дескураїнія Софія, горець в'юнковий, горець птичий, хатьма тюрингенська, полин гіркий, полин звичайний, кульбаба лікарська, латук татарський, в'юнок польовий, осот польовий, пастушача сумка, ярутка польова, ромашка непахуча, марь біла, амброзія полиннолиста, чортополох курчавий, татарник колючий, акація біла, тополя чорна, ясен, шиповник звичайний, бузина чорна.
Верхні (сухі) схили - укоси	0...3	Резеда жовта, жовтушник левкоїний, дескураїнія Софія, горець в'юнковий, кульбаба лікарська, в'юнок польовий, осот польовий, донник лікарський, акація біла.
Майданчик складування породи - пагорби не спланованої породи	0...4	Овес пустий (вівсюг), мох кукушкин лен, прибрежниця солончакова, мятлик луговий, овсяниця лугова, овсяниця жолобчата, жовтушник левкоїний, горець в'юнковий, горець птичий, латук татарський, осот польовий, марь біла, амброзія полиннолиста, акація біла.
- низини, яруги, виймки	2...6	Пирій повзучий, прибрежниця солончакова, молочай кіпарисовий, жовтушник левкоїний, пижмо звичайне, осот польовий, пастушача сумка, ярутка польова, амброзія звичайна, деревій звичайний, акація біла.
Вершина	7...12	Люцерна серповидна, горошок мишачий, пирій повзучий, чина лугова, лядвенець рогатий, цикорій звичайний, молочай кіпарисовий, смольовка звичайна, тростник звичайний, жовтушник левкоїний, сераделла мальська, пижмо звичайне, полин гіркий, полин звичайний, кульбаба лікарська, деревій звичайний, пастушача сумка, ромашка непахуча, щавель кінський, татарник колючий.

Результати експерименту по інтродукції дернових матів на поверхню схилів породного відвалу

Ярус	Експозиція схилів відвалу							
	П	ПнЗ	З	ПдЗ	П	ПдС	С	ПнС
Верхній								
Середній								
Нижній								

Умовні позначення:

	Добра приживлюваність дернових матів з розширенням ареалу і спонтанним заселенням нових видів рослинності. Навколо рослинного шару спостерігаються наноси родючого ґрунту з прилеглих сільгоспугідь в результаті вітрової ерозії.
	Добра приживлюваність інтродукованих зразків рослинності без розширення ареалу. Дернові мати досить міцно закріплені на схилі; по контуру зразка спостерігаються незначні наноси родючого субстрату (ґрунту) з прилеглих сільгоспугідь в результаті вітрової ерозії. Є поодинокі рослини, занесені природним шляхом.
	Приживлюваність дернових матів задовільна. Зразки недостатньо міцно закріпилися на схилі, розширення ареалу та присутності наносів родючого субстрату не спостерігається. Рослинні форми, заселені природним шляхом, відсутні.
	Зразки погано закріпилися на схилі і значно засмічені частками породи. Рослинність дернових матів пригнічена, по контуру спостерігаються відмерлі рослини. Наноси родючого субстрату не виявлені. Рослинні форми, заселені природним шляхом, відсутні.
	Зразки практично не прижилися до породного субстрату, в значній мірі висушені або засипані частинками породи в результаті процесів водної ерозії. Наноси родючого субстрату і рослинні форми, занесені природним шляхом, відсутні.

Наукове видання

Ковров Олександр Станіславович
Кулікова Дар'я Володимирівна

**ЕКОЛОГІЧНІ СТРАТЕГІЇ ТА ІННОВАЦІЙНІ
ПРИРОДООХОРОННІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЄС ТА УКРАЇНІ**

Монографія

Видано за редакцією авторів.

Підписано до друку 02.05.2025 р. Формат 60x84¹/₁₆.
Папір офсетний. Друк цифровий. Обл.-вид. арк. 14,75.
Ум. друк. арк. 13,72. Тираж 100 прим. Зам. № 19

Підготовлено до видання
в Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка».
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 1842 від 11.06.2004 р.
49005, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 19.

Видавництво «Журфонд»
49001, Дніпро, вул. Старокозацька, 8.
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру
ДК № 684 від 21.11.2001 р.

Віддруковано:
ФОП Вахмістров О.Є.,
м. Дніпро, вул. Писаржевського, буд. 18

Ковров О.С.

K56 Екологічні стратегії та інноваційні природоохоронні технології в ЄС та Україні: монографія / О.С. Ковров, Д.В. Кулікова; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро: Журфонд, 2025. – 236 с.

ISBN 978-966-934-675-9

Монографія присвячена ґрунтовному аналізу існуючих екологічних технологій з фокусом на очищення газопилових викидів та поліпшення якості атмосферного повітря, очищення стічних вод від органічних домішок, інновації в галузі фітореMediaції та відновлення порушених гірничопромислових земель. Розглянуто сучасні методи очищення викидів в атмосферу з оцінкою ефективності роботи різних типів очисних споруд, розрахунки основних процесів очищення стічних вод і водопідготовки, технології фітореMediaції забруднених важкими металами земель із застосуванням сучасних екологічних підходів.

Монографія є результатом наукових досліджень і частиною дисципліни «Інноваційні екологічні технології в ЄС та Україні», розробленої та впровадженої в навчальний процес в рамках освітнього проекту «Стандарти Європейського союзу щодо екологічної реабілітації гірничопромислових земель» (EUSERML 101085715), який реалізовано в НТУ «Дніпровська політехніка» за підтримки програми Європейського Союзу Еразмус+.

УДК 502:504