

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»



НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

Кафедра екології та технологій захисту навколишнього середовища

В.Є. Колесник, О.О. Березняк

НАУКОВІ ОСНОВИ РАЦІОНАЛЬНОГО ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

Методичні рекомендації до виконання практичних робіт
для здобувачів ступеня магістра за освітньо-професійною програмою
«Технології захисту навколишнього середовища» та освітньо-науковою
програмою «Ресурсозбереження в гірничо-металургійному комплексі»
зі спеціальності G2 Технології захисту навколишнього середовища

Дніпро
НТУ «ДП»
2026

Наукові основи раціонального природокористування [Електронний ресурс]: методичні рекомендації до виконання практичних робіт для здобувачів ступеня магістра за освітньо-професійною програмою «Технології захисту навколишнього середовища» та освітньо-науковою програмою «Ресурсозбереження в гірничо-металургійному комплексі» зі спеціальності G2 Технології захисту навколишнього середовища / уклад.: В.Є. Колесник, О.О. Березняк; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро : НТУ «ДП», 2026. – 36 с.

Укладачі:

В.Є. Колесник, д-р техн. наук, проф.

О.О. Березняк, канд. техн. наук, доц.

Затверджено науково-методичною комісією зі спеціальності G2 Технології захисту навколишнього середовища (протокол №15 від 28.08.2026) за поданням кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища (протокол № 13 від 28.08.2026).

Подано теоретичні відомості за відповідними темами лекційного курсу, практичних робіт з рекомендаціями до їх виконання, контрольні питання, список використаної та рекомендованої літератури.

Орієнтовано на забезпечення навчального процесу здобувачів ступеня магістра за освітньо-професійною програмою «Технології захисту навколишнього середовища» та освітньо-науковою програмою «Ресурсозбереження в гірничо-металургійному комплексі» зі спеціальності G2 Технології захисту навколишнього середовища» стосовно надбання практичних навичок у засвоєнні дисципліни «Наукові основи раціонального природокористування».

Відповідальний за випуск завідувачка кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища О.О. Борисовська, канд. техн. наук, доц.

ЗМІСТ

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ	4
Практична робота № 1. Аналіз інституціональних механізмів управління водними ресурсами з використанням екологічно ефективних законодавчих актів, апробованих заходів і засобів та новітніх рішень	6
Практична робота № 2. Аналітичне дослідження зсувонебезпеки природних схилів та штучних укосів на основі моделювання процесів зсуву ґрунтів.....	12
Практична робота № 3. Дослідження параметрів моделі проточного горизонтального відстійника для очистки води від екологічно небезпечних домішок.....	18
Практична робота № 4. Обґрунтування та вибір конструктивних параметрів апаратів (циклонів) для сухої очистки від твердих аерозолів викидів в атмосферу зі стаціонарних джерел	24
КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ.....	31
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ТА РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	33

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Методичні рекомендації до виконання практичних робіт базуються на основних теоретичних положеннях лекційного курсу «Наукові основи раціонального природокористування», що є обов'язковою освітньою компонентою другого (магістерського) рівня вищої освіти.

Дисципліна передбачає формування у майбутніх фахівців (магістрів, магістрів-науковців) умінь та компетенцій для формування сучасної екосвідомої та ековідповідальної поведінки в умовах господарської та побутової діяльності; забезпечення майбутніх фахівців знаннями на рівні новітніх досягнень про основні концепції природознавства, сталого розвитку і методології наукового пізнання для пошуку та впровадження новітніх екодружніх технологій та інших заходів для підвищення екологічної безпеки довкілля та забезпечення раціонального природокористування.

Методичні рекомендації призначені для свідомого виконання практичних робіт з дисципліни «Наукові основи раціонального природокористування» та закріплення теоретичних знань, набутих здобувачами в лекційному курсі, а також формування навичок із застосування їх у подальшій практичній та науковій роботі екологічного спрямування, в тому числі під час виконання кваліфікаційної роботи магістра..

В методичних рекомендаціях представлено **чотири практичні роботи**, теми яких носять уніфікований характер, що дозволяє виконувати кожную практичну роботу з урахуванням специфіки очікуваних дисциплінарних результатів навчання за відповідними робочими програмами. Досягається це під час виконання указаних практичних робіт шляхом обрання таких об'єктів аналізу, дослідження або обґрунтування параметрів конструкцій, які відповідають специфіці відповідних освітніх програм навчання, тобто з Екології, Технологій захисту навколишнього середовища та Ресурсозбереження в гірничо-металургійному комплексі.

Текст практичних робіт викладено за типовою структурною схемою: тема, мета роботи, сформовані результати навчання, подання теоретичних положень за темою кожної практичної роботи, практичне завдання для самостійного виконання та питання для самоконтролю.

Практичні роботи виконуються здобувачами згідно з поставленими завданнями з використанням наведених в роботі методів, методик, математичних моделей, схем, таблиць.

Результатом виконання практичної роботи є звіт, який підлягає захисту.

Звіт з практичної роботи мусить виконуватись у вигляді електронного файлу з використанням Word, Excel, формат сторінок A4 або інших комп'ютерних програм відповідно до специфіки заданих або обраних об'єктів, аналізу, дослідження, обґрунтування чи конструювання (згідно з очікуваними результатами навчання, передбачених у відповідних робочих програмах з дисципліни). Звіт повинен включати:

- титульний аркуш,

- назву та мету роботи,
- завдання на практичну роботу,
- результати виконання завдань на практичну роботу,
- висновки.

В результаті виконання практичних робіт здобувачі повинні набути дисциплінарні результати, що передбачені у робочих програмах з указаної вище дисципліни, що наведені нижче.

Аналізувати закономірності та фундаментальні принципи раціонального природокористування, включаючи системи управління мінеральними, земельними, водними та біологічними ресурсами з урахуванням наукових підходів до ресурсозбереження.

Інтегрувати методи системного аналізу, моніторингу та управління ресурсами для планування, організації та проведення наукових досліджень у сфері екологічної безпеки та ресурсозбереження.

Розробляти та реалізовувати комплексні науково-дослідні проекти, спрямовані на вдосконалення екологічних стандартів, підвищення рівня екологічної безпеки та мінімізацію техногенного навантаження в різних секторах економіки, у тому числі у ГМК.

Обґрунтовувати та впроваджувати новітні екотехнології та системи управління життєвим циклом виробництва для забезпечення ресурсозбереження та зниження негативного впливу на довкілля.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №1

Аналіз інституціональних механізмів управління водними ресурсами з використанням екологічно ефективних законодавчих актів, апробованих заходів і засобів та новітніх рішень

Мета: Набуття навичок аналізу інституціональних механізмів управління водними ресурсами з використанням екологічно ефективних законодавчих актів, апробованих заходів і засобів та новітніх рішень

В результаті виконання даної практичної роботи будуть сформовані наступні **результати навчання**:

Аналізувати закономірності та фундаментальні принципи раціонального природокористування, включаючи системи управління мінеральними, земельними, водними та біологічними ресурсами з урахуванням наукових підходів до ресурсозбереження.

Інтегрувати методи системного аналізу, моніторингу та управління ресурсами для планування, організації та проведення наукових досліджень у сфері екологічної безпеки та ресурсозбереження.

Завдання.

Ознайомитися з основними заходами з охорони вод.

Засвоїти інституціональні засади забезпечення відтворення водних ресурсів на основі аналізу проблемних питань, які стосуються створення в інституціональному середовищі водокористування базисних інститутів, інститутів ринку та фінансово-економічного регулювання.

Визначити певні інституціональні засади (певні закони чи нормативні документи), серед яких «Правові», «Організаційні», «Технологічні», «Економічні», «Наукові», «Соціальні» для покращення водокористування.

Запропонувати систему заходів для ефективного водокористування на обраному об'єкті (регіон, місто, район міста, потужне промислове підприємство), з висвітленням певних рекомендацій, спираючись на відповідні закони, нормативні документи, стандартизовані або відомі методики, технічні рішення чи засоби, інноваційні технології або соціальні нововведення, що забезпечать збереження водних ресурсів.

Підготувати електронний файл для звіту, що повинен містити:

- постановку задачі;
- основні теоретичні положення щодо забезпечення збереження водних ресурсів.
- рекомендації на основі на відповідних законів, нормативних документів, стандартизованих методик, технічних рішень чи засобів, інноваційних технологій або соціальних нововведень, що забезпечать збереження водних ресурсів;
- висновки за конкретними результатами аналізу.

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Заходи з охорони та збереження вод як цінного ресурсу.

Правові заходи – дотримання природоохоронних законів, Водного кодексу України.

Організаційні заходи – створення схем комплексного використання та охорони вод басейнів річок, які повинні забезпечувати збереження якості вод згідно вимог правил охорони поверхневих вод від забруднення стічними водами, правил санітарної охорони прибережних вод морів, положення про порядок використання й охорони підземних вод.

Технологічні заходи - діяльність, направлена на:

зменшення обсягів стічних вод за рахунок удосконалення технологій виробництва;

покращення методів очищення стічних вод; вилучення із стічних вод та утилізація цінних речовин; впровадження оборотного водопостачання; заміна водяного охолодження повітряним

Економічні заходи – розробка і впровадження критеріїв з оцінки збитків від забруднення вод, стимулювання впровадження водозберігаючих технологій тощо.

Наукові заходи – проведення теоретичних (гідрологічних, гідрохімічних, гідроекологічних, направлених на покращення всієї системи охорони вод) і прикладних досліджень (направлених на вдосконалення існуючих методів очищення стічних вод, розробку водозберігаючих технологій).

Соціальні заходи – створення сприятливих умов для проживання, здоров'я і відпочинку з використанням водних ресурсів; виховання бережливого ставлення до водних ресурсів спільними зусиллями державних органів і громадських організацій; екологічна освіта і громадська екологічна діяльність.

Інституціональні механізми забезпечення відтворення водних ресурсів.

Для формування соціально орієнтованої ринкової економіки, яка ґрунтується на ресурсоощадливому природокористуванні, необхідно розробити сучасний інституціональний механізм екологічно збалансованого водокористування, що вдало поєднуватиме формальні (закони, підзаконні акти, правила, стандарти, методики, апробовані новітні методи, наукові рішення тощо) та неформальні (звичаї, традиції, цінності тощо) інститути, які прямо чи опосередковано забезпечуватимуть залучення водних ресурсів у господарський оборот, регулюватимуть їх перерозподіл і споживання.

Сьогодні існує багато проблемних питань, які стосуються створення в

інституціональному середовищі водокористування базисних інститутів, інститутів ринку та фінансово-економічного регулювання.

Саме наведені органи визначають засади володіння, користування й розпоряджання водними ресурсами, формують ринкову інфраструктуру здійснюють товарно-грошові відносини у зв'язку із залученням та споживанням водної складової продуктивних сил, систему спонукальних та заохочувальних заходів, які мають сприяти переходу національної економіки до використання маловодних та безводних технологій.

Отже, виникає необхідність формування інституціонального середовища водокористування з відповідними механізмами управління, яке включатиме значно ширший спектр інституціональних одиниць.

Головним базисним інститутом, який потребує масштабних трансформацій, є система управління водним господарством, що являє собою симбіоз обласних чи районних водних господарств і водогосподарських організацій, котрі лише пасивно впливають на екологічність водокористування та його економічні пропорції.

Проте для сталого розвитку важливими у сфері водокористування стають інститути ринку, представлені інститутами ринкової інфраструктури, ринками водних ресурсів, тарованої води, тобто води певної якості, та водогосподарських послуг.

Отже, водогосподарська діяльності значною мірою залежить від екологічності водокористування в певних кліматичних умовах разом та спектру ринкових інструментів і механізмів його фінансового забезпечення в певних умовах районів, громад.

Зовнішні та внутрішні детермінанти водокористування схематично наведені на рис 1.1.

ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

За переліченими вище відповідними інституційними засадами водокористування студент-магістр здійснює самостійно пошук документів стосовно користування водними ресурсами (закон, постанова, стандартизована методика, опублікований та апробований новітній метод тощо), заносючи їх у відповідну колонку звітної таблиці (наведена нижче) і у вигляді короткого бібліографічного описання (як посилання на певне інформаційне чи літературне джерело).

Приклади:

1. Державні санітарні норми опалення ДСН 3.36.039-99 (www.VEN.CON.UA)

2. Постанова Кабміну від 6 серпня 2014 р. № 409 «Про встановлення державних соціальних стандартів у сфері житлово-комунального обслуговування». URL: www.rmu.gov.ua

3. Колесник В.Е., Павличенко А.В., Бучавий Ю.В. Уніфікована методика комплексного оцінювання рівня екологічної небезпеки промислових об'єктів та технологій // Техногенно-екологічна безпека. 2018. №3(1). С. 64-69.

4. Колесник В.Є., Бучавий Ю.В., Рудченко А.Г. (2025). Встановлення кореляційного зв'язку між показниками ресурсозбереження та екологічної безпеки. // 36. наук. праць Національного гірничого університету, № 80 (2025). – С. 288-300 (<https://doi.org/10.33271/crpnmu/80.288>)

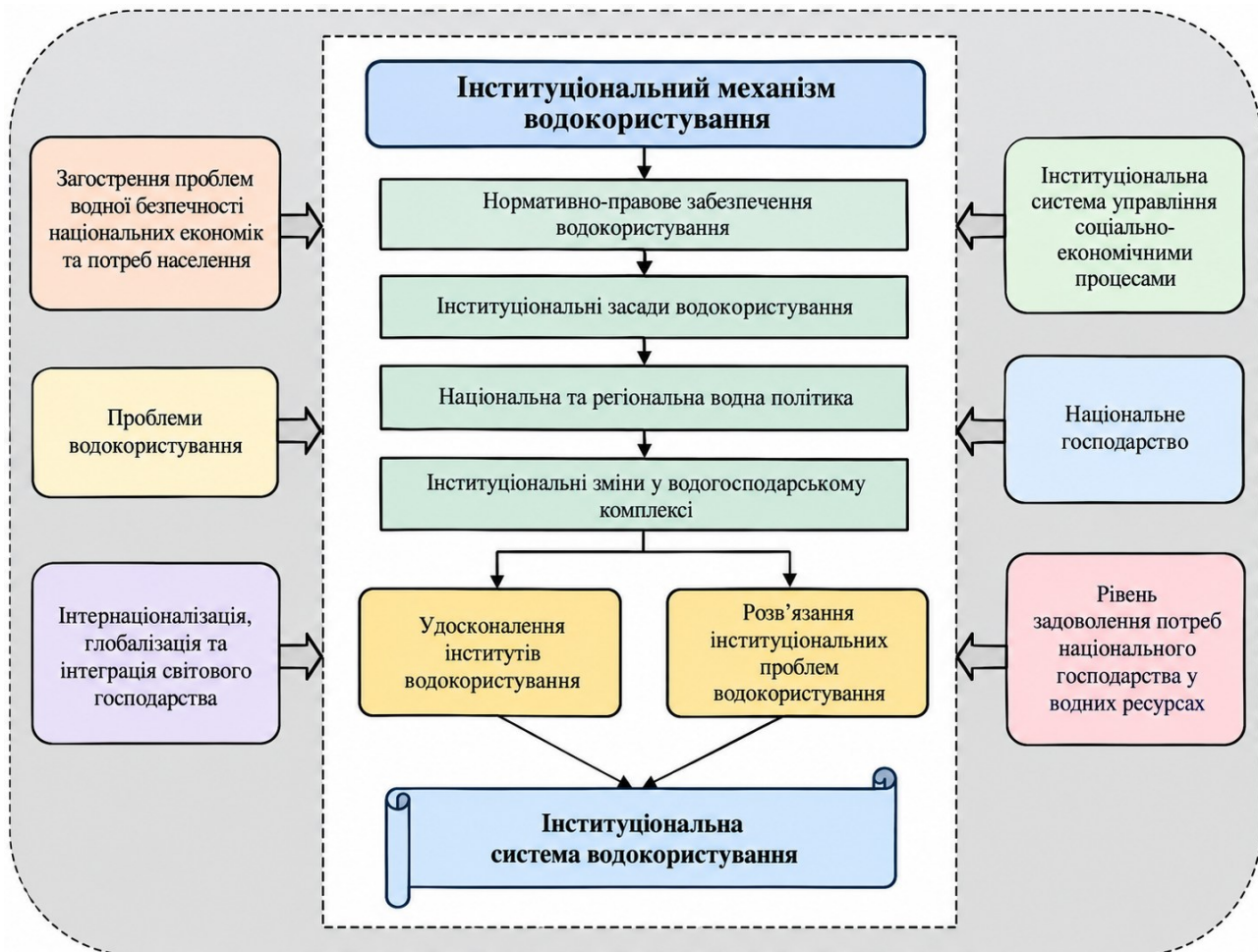


Рисунок 1.1. Модель інституціонального середовища водокористування

Імплементація в умовах сталого розвитку на вибраному об'єкті екологічно безпечних засад, заходів чи технологій водопостачання, інтегрованих з сучасними ринковими інститутами на вибраному об'єкті водопостачання (як **приклад**: аграрні чи садово-паркові зрошувальні системи, природо-промислові комплекси, аграрно-тваринницькі комплекси, промислові підприємства, біогазові комплекси, зрошувальні канали, міські підприємства питного водопостачання, гірничо-збагачувальні фабрики, металургійні підприємства тощо)

Рекомендації щодо впровадження заходів у водогосподарському комплексі об'єкта аналізу формуються студентом-магістром з позицій майбутнього фахівця-експерта, інженера-технолога чи науковця з екологічних питань або технологій захисту навколишнього середовища.

Приклади:

1. Рекомендується при наявності речовин з міграційними водними або міграційним повітряним показниками, що лімітують, проводиться контроль за вмістом цих речовин у зоні дихання людини й у воді місцевих водних джерел.

2. Пропонуються заходи чи технічні або технологічні рішення щодо зниження рівня забруднення й зв'язування токсикантів у ґрунті. Контроль за вмістом токсикантів у зоні дихання людини й у воді місцевих водних джерел

Форма табл. 1.1 до звіту як результат аналізу щодо впровадження інституціональних механізмів на обраному об'єкті у вигляді електронного файлу. Рекомендації щодо впровадження заходів у водогосподарському комплексі певного об'єкта аналізу

Таблиця 1.1– Результат аналізу інституціональних механізмів управління на конкретному об'єкті

Інституційні засади водокористування	Документ стосовно користування водними ресурсами (закон, постанова, стандартизована методика, апробовані новітні методи чи наукові рішення тощо)	Імплементация заходів на вибраному об'єкті (регіон, місто, район міста, потужне промислове підприємство)	Рекомендації щодо впровадження заходів у водогосподарському комплексі об'єкта аналізу
«Правові»			
«Організаційні»			
«Технологічні»			
«Економічні»			
«Наукові»			
«Соціальні»			

Примітка. В колонці 2 таблиці наводять знайдені документи відповідно до інституційних засад водокористування колонки 1. В колонці 3 указують рівень (або можливість) втілення засад з указаних в колонці 2 документів на певному обраному для аналізу об'єкті. В колонці 4 указують заходи з ресурсозбереження, які пропонуються для впроваджувати на об'єкті стосовно водного ресурсу.

Висновки. В умовах сталого розвитку пропонується імплементация на вибраному об'єкті (вказати конкретний об'єкт) екологічно безпечних засад, заходів чи технологій (вказати конкретну пропозицію) водопостачання,

інтегровану з сучасними ринковими інститутами, серед яких «Правові», «Організаційні», «Технологічні», «Економічні», «Наукові», «Соціальні» (указати конкретні знайдені інструменти у вигляді документів), що змусять розширити спектр інституціональних ланок залучення водних ресурсів у господарський оборот, їх відновлення, відтворення, охорону та збереження води як цінного ресурсу, а також у формуванні конкретного інституціонального механізму екологічно збалансованого водокористування.

Примітка. Висновок можливо подати у вигляді пронумерованих позицій 1–4.

Питання для самоконтролю

1. Які інституціональні механізми чи засади дозволяють управляти водокористуванням в умовах сталого розвитку?
2. Які чинники або заходи чи технічні рішення забезпечуватимуть ефективне збереження водних ресурсів?
3. Назвіть типові джерела постачання питної або технічної води.
4. На яких об'єктах доцільно імплементувати заходи, що наведені в колонці 1 таблиці 1.1.?

ПРАКТИЧНА РОБОТА №2

Аналітичне дослідження зсувонебезпеки природних схилів та штучних укосів на основі моделювання процесів зсуву ґрунтів

Мета роботи: набуття навичок оцінки зсувонебезпеки локальних територій розташування схилів та укосів, тобто яружно-балочної мережі населених міст та штучних промислових укосів.

В результаті виконання даної практичної роботи будуть сформовані наступні **результати навчання**:

Аналізувати закономірності та фундаментальні принципи раціонального природокористування, включаючи системи управління мінеральними, земельними, водними та біологічними ресурсами з урахуванням наукових підходів до ресурсозбереження.

Розробляти та реалізовувати комплексні науково-дослідні проекти, спрямовані на вдосконалення екологічних стандартів, підвищення рівня екологічної безпеки та мінімізацію техногенного навантаження в різних секторах економіки, у тому числі у ГМК.

Інтегрувати методи системного аналізу, моніторингу та управління ресурсами для планування, організації та проведення наукових досліджень у сфері екологічної безпеки та ресурсозбереження.

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Кліматичні зміни та порушення складових навколишнього природного середовища постають як важливі компоненти соціально-екологічної проблеми. Так, в Україні середня температура за останні 25 років зросла на 1,3 °C та 0,9 °C у літній та зимовий сезони, відповідно. Підвищення температури повітря сприяє зменшенню промерзання ґрунту взимку, прискоренню просочування води у ґрунтову товщу та підвищення рівня ґрунтових вод, посилення підтоплення та активізація зсувів в тому числі і на територіях населених міст. Однак, найбільш помітним наслідком зміни клімату в Україні є зростання кількості та інтенсивності екстремальних погодних явищ, викликаних динамічними процесами у кліматичних системах, які супроводжуються, хоч і короткочасними, але інтенсивними опадами – провісниками геологічних процесів у вигляді зсувів земної поверхні.

Поширення та розвиток зсувів земної поверхні на території України має тенденцію до зростання, зокрема площі зсувонебезпечних зон за останні 30 років збільшились у 2–5 разів. Площа фактичних зсувів становить 4953,6 км². Головними природними чинниками активізації зсувів є кліматичні зміни, обумовлені кількістю та інтенсивністю опадів, температурними коливаннями тощо. Господарська діяльність виступає фактором додаткового впливу на розвиток зсувного процесу у вигляді зовнішніх навантажень, підрізки схилів під час будівельних робіт, створення динамічних навантажень тощо.

Адекватна прогнозна оцінка зсувонебезпеки в масштабах цілих регіонів і

окремих яружно-балочних мереж дозволить запобігти катастрофічним зсувним явищам та впровадити дієву систему захисних інженерних заходів.

Моніторинг земель та геологічного середовища показує, що значна кількість схилів і укосів в балках на територіях великих міст є зсувонебезпечними через низьку стійкість (міцність) лесових ґрунтів, кліматичні особливості місцевості та штучні впливи. Наприклад, загальна площа зсувних ділянок в балці Діївська (м. Дніпро) може сягати приблизно 45000 м².

Основні регресійні залежності для визначення рівнів зсувонебезпеки схилів і укосів.

На основі обробки статистичних даних стосовно кліматичних показників та рельєфу територій, співробітниками кафедри було побудовано модель залежності питомої кількості зсувів ґрунту (число зсувів на 1000 кв. км) від інтенсивності атмосферних опадів в регіонах. При цьому для оцінки зсувонебезпечності певних областей запропоновано інтегральний коефіцієнт рельєфу, який є добутком усереднених відомих коефіцієнтів висоти, густоти та глибини рельєфу місцевості в районах розташування схилів і укосів. Для подальшого аналізу наводимо виявлений тренд з предметними змінними у вигляді рівняння регресії:

$$N_{zc} = 0,011 K_p W, \quad (2.1)$$

де N_{zc} – питома чисельність зсувів у регіоні, число зсувів на 1000 кв. км; W – кількість річних опадів, мм/рік; K_p – інтегральний коефіцієнт рельєфу місцевості у певному регіоні.

Зазначимо, що виявлена лінійна регресійна залежність питомої чисельності зсувів від кількості атмосферних опадів у вигляді (2.1) дозволила визначати потенційну зсувонебезпечність певних регіонів та побудувати відповідну карту України.

На практиці, зокрема в локальному контексті, тобто на певних територіях яружно-балочної мережі населених міст, постає зворотна задача, що полягає у визначенні кількості опадів, яка спричинить, хоча б один зсув ґрунту на певній території, наприклад житлового масиву, розташованого поряд з яром чи балкою, небезпечна зона якої складає певну площу – S . Очевидно, що на цій території інтегральний коефіцієнт рельєфу місцевості буде відрізнятися від регіонального (K_p), отже також потребує окремого визначення.

Для вирішення задачі у такій постановці перепишемо рівняння (2.1) з заміною питомої кількості зсувів на фактичну та помножимо ліву і праву частину на S .

Отримаємо:

$$N_{zc} S / 1000 = 0,011 K_p W S. \quad (2.2)$$

Ліва частина рівняння (2.2) прогнозує фактично очікувану чисельність зсувів на території площиною S , км² після певної кількості опадів. Позначимо її як N_s , тобто $N_{zc} S / 1000 = N_s$, та перепишемо рівняння (2) у вигляді:

$$N_s = 0,011 K_{ps} W_s S, \quad (2.3)$$

де W_s – фактична кількість опадів над обраною територією на період прогнозу, мм; K_{ps} – інтегральний коефіцієнт рельєфу обраної місцевості.

Рівняння (2.3) дозволяє визначити кількість опадів, що спричинить хоча б один зсув ґрунту на обраній території. Для цього підставимо у ліву частину (2.3) величину $N_s = 1$, та знайдемо корінь отриманого рівняння у вигляді:

$$W_{so} = 1 / 0,011 K_{ps} S = 99,909 / K_{ps} S, \quad (2.4)$$

З формули (2.4) витікає, що чим більше масштаби яружно-балочної мережі, тим менша кількість опадів спричинить принаймні одиничний зсув. Але W_{so} певною мірою залежить й від величини інтегрального показника K_{ps} , який враховує рельєф відповідної ділянки яружно-балочної мережі.

Примітно, що рівняння (2.4) дозволяє визначити кількість опадів, що спричинять хоча б один зсув ґрунту на зсувонебезпечній території площею S , км². Відповідний розв'язок цього рівняння відносно інтенсивності опадів W_{so} , що обумовлять 1 зсув, отримано у вигляді виразу:

$$W_s = 99,909 / K_{ps} S, \text{ мм} \quad (2.5)$$

Рівняння (1.5) дозволяє прогнозувати не тільки критичні для зсуву ґрунту опади на території яружно-балочної мережі. Зазначимо, що число-коефіцієнт в чисельнику – 99,909, з одного боку, характеризує критичні опади в мм, які спричинять зсув на зсувонебезпечній території площею 1 км² з коефіцієнтом рельєфу 1, а з іншого, – це відповідний об'єм води, що потрапляє на указану площу, оскільки має розмірність – мм*км². В кінцевому результаті, визначає критичне для зсуву зволоження зсувонебезпечної ділянки яружно-балочної мережі певної площі з певним рельєфом:

$$W_s S = 99,909 / K_{ps}, \text{ мм*км}^2 = 99,909 \times 10^3 / K_{ps}, \text{ м}^3, \quad (2.6)$$

Рівняння (2.6) дозволяє оцінити об'єм зволоженого ґрунту, що видаляється з масиву в результаті зсуву. Позначимо його як V , м³ та поділимо ліву і праву частину на цю величину. Отримаємо відносну величину критичного для зсуву зволоження масиву ґрунту, яку можна подати в процентах W_g , %:

$$W_g, \% = W_s S \times 100 / V = 99,909 \times 10^5 / V K_{ps}, \%$$

Тобто отримаємо рівняння для визначення відносної вологості ґрунту:

$$W_g = 99,909 \times 10^5 / V K_{ps}, \%$$

з якого

$$V = 99,909 \times 10^5 / W_g K_{ps}, \text{ м}^3. \quad (2.7)$$

Польові дослідження вологості зсувного ґрунту показали, що величина W_g , залежно від властивостей ґрунту вбирати вологу до втрати стійкості природного схилу чи штучного укосу зазвичай менше критичного, отриманого за моделлю та коливається в межах $W_{g,} = 15\text{--}20$, %, залежно від пористості ґрунту. Отже підставляючи певне значення вологості нестійкого ґрунту, визначимо об'єм вивалу зволоженого ґрунту під час зсуву.

Таким чином, для прогнозу параметрів зсуву в локальному аспекті залишається визначити інтегральний коефіцієнт рельєфу – K_{ps} .

ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

Розрахункове визначення коефіцієнту рельєфу за параметрами схилів чи штучних, в тому числі промислових, укосів

Авторами запропоновано визначати його як добуток коефіцієнтів, що характеризують зміни в локальному рельєфі певної ділянки яружно-балочної мережі, тобто:

$$K_{ps} = K_{\text{вис}} \times K_{\text{зсув}} \times K_{\text{пер}}, \quad (2.8)$$

де $K_{\text{вис}}$ – коефіцієнт перепаду абсолютних висот уздовж яружно-балочної системи; $K_{\text{зсув}}$ – коефіцієнт найбільш зсувонебезпечного укосу; $K_{\text{пер}}$ – коефіцієнт перетину для найбільш зсувонебезпечного профілю.

Зазначені коефіцієнти розраховуються з урахуванням схем, наведених на рис. 2.1, за формулами:

$$K_{\text{вис}} = 1000 \times \Delta h / L_{\text{заг}}; K_{\text{зсув}} = h_s / l_s; K_{\text{пер}} = (l_n / l_b) \times (h_s / l_n). \quad (2.9)$$

де $L_{\text{заг}}$ – загальна довжина балки, м; Δh – перепад висот уздовж балки, м; 1000 – перерахунковий коефіцієнт, проміле; h_s – абсолютна висота укосу, м; l_s – довжина укосу, м (рис. 2.1, а); l_b , l_n – ширина балки відповідно по верхньому та нижньому профілю, м (рис. 2.1, б).

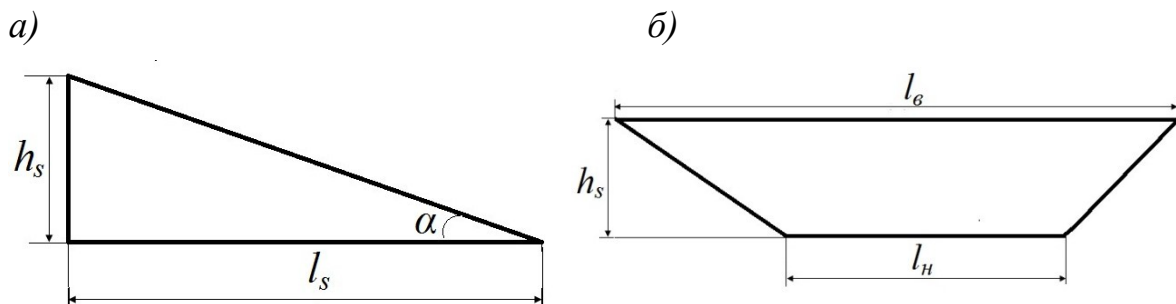


Рисунок 2.1. Пояснювальні схеми до розрахунку коефіцієнту зсувонебезпечного укосу $K_{\text{зсув}}$ (а) та коефіцієнту перетину $K_{\text{пер}}$ (б)

Таким чином, для прогнозу кількості опадів W_s , що спричинять один зсув ґрунту на певній території яружно-балочної мережі площею S , км², залишається визначити інтегральний коефіцієнт рельєфу цієї території K_{ps} .

Приклад визначення інтегрального коефіцієнту рельєфу K_{ps} та показників зсувонебезпеки балки Діївська (сmt. Дівка, м. Дніпро)

В результаті обстеження території балки Діївська отримали наступні вихідні дані для оцінки зсувонебезпечності: $L_{\text{заг}} = 1080$ м; $S = 0,092$ км²; $\Delta h = 22$ м; $h_s = 17$ м; $l_s = 4$ м; $l_n = 12$ м; $l_b = 42$ м.

1. Розрахуємо інтегральний коефіцієнт рельєфу балки K_{ps} за формулами (2.8), (2.9):

$$K_{ps} = K_{\text{вис}} K_{\text{зсув}} K_{\text{пер}} = (1000 \times \Delta h / L_{\text{заг}}) \times (h_s / l_s) \times (l_n / l_b) \times (h_s / l_n) = (1000 \cdot 22 / 1080) \times (17 / 4) \times (12 / 42) \times (17 / 12) = 20,37 \times 4,25 \times 0,40 = 35,04.$$

2. Критична для зсуву у балці кількість опадів W_s , які спричинять зсув,

складе:

$$W_s = 90,909 / K_{ps} \times S = 90,909 / 35,04 \times 0,092 = 90,909 / 3,224 = 28,2 \text{ мм.}$$

3. Для виникнення зсуву на найбільш зсувонебезпечній ділянці балки, критичним прогнозом є 28,2 мм опадів за короткостроковий період. Об'єм води, що критично зволожить ґрунт ділянки складе згідно з (2.6):

$$W_s S = 90,909 / 35,04 = 28,2 * 0,092, \text{ мм} * \text{км}^2 = 28,2 * 0,092 * (10^3), \text{ м}^3 = 2594 \text{ м}^3.$$

4. Прогнозний об'єм зволоженого до 17% ґрунту, що видаляється з масиву в результаті зсуву, згідно з (2.7) складе

$$V = 90,909 \times 10^5 / W_g K_{ps} = 90,909 \times 10^5 / (17 \times 35,04) = 15258 \text{ м}^3.$$

Висновок. Прогнозний об'єм зволоження ґрунту на дослідженій території балки, що видаляється з масиву в результаті зсуву складе 15258 м³.

КОНТРОЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

Засвоїти методи фізичного моделювання зсувів та стійкості схилів (укосів) в залежності від рівня опадів (зволоження ґрунту) та рельєфу місцевості.

Засвоїти порядок визначення зсувонебезпеки схилів яружно-балочної мережі чи техногенних укосів на основі регресійних залежностей (у вигляді рівнянь).

Визначити інтегральний коефіцієнту рельєфу, показники зсувонебезпеки балки та прогнозний об'єм зсунутого зволоженого ґрунту.

Розрахувати критичну для зсуву у балці кількість опадів W_s , які спричинять зсув, та прогнозний об'єм зволоженого до 17% ґрунту, що видаляється з масиву в результаті зсуву.

Початкові дані для розрахунку наведені у таблиці 2.1 згідно варіантів, який визначається останньою цифрою номера індивідуального навчального плану.

Таблиця 2. 1– Варіанти

Значення змінних	Номера варіантів (остання цифра номера залікової книжки)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$L_{\text{заг}}, \text{ м}$	1000	1020	1030	1050	1070	1090	1110	1130	1150	1170
$S, \text{ км}^2$	0,11	0,105	0,1	0,095	0,09	0,085	0,08	0,075	0,07	0,065
$\Delta h, \text{ м}$	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
$h_s, \text{ м}$	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13
$l_s, \text{ м}$	4,9	4,8	4,7	4,6	4,5	4,4	4,3	4,2	4,1	4,0
$l_n, \text{ м}$	11,2	11,4	11,6	11,8	12	12,2	12,4	12,6	12,8	13
$l_b, \text{ м}$	44	43	42	41	40	39	38	37	36	35

Питання для самоконтролю

1. Назвіть основні наслідки зміни клімату спостерігаються в Україні за останні роки і як вони впливають на стан ґрунтів та підземних вод?
2. Які екстремальні погодні явища сприяють активізації гідрогеологічним процесам в ґрунті і підвищують зсувонебезпеку?
3. Наведіть фактори, що спричиняють зсуви на територіях великих міст в яружно-балочних мережах?
4. Назвіть заходи або технологічні рішення для запобігання зсувів?
5. Які регресійні залежності слугують для визначення рівнів зсувонебезпеки природних схилів і штучних укосів?
6. У чому полягає зворотна задача для локальних територій яружно-балочної мережі, і які параметри необхідно враховувати для її вирішення?

ПРАКТИЧНА РОБОТА №3

Дослідження параметрів моделі проточного горизонтального відстійника для очистки води від екологічно небезпечних домішок

Мета роботи: набуття навичок з визначення основних параметрів первинних горизонтальних відстійників, призначених для очищення води від механічних домішок.

В результаті виконання даної практичної роботи будуть сформовані наступні **результати навчання**:

Аналізувати закономірності та фундаментальні принципи раціонального природокористування, включаючи системи управління мінеральними, земельними, водними та біологічними ресурсами з урахуванням наукових підходів до ресурсозбереження.

Розробляти та реалізовувати комплексні науково-дослідні проекти, спрямовані на вдосконалення екологічних стандартів, підвищення рівня екологічної безпеки та мінімізацію техногенного навантаження в різних секторах економіки, у тому числі у ГМК

Обґрунтовувати та впроваджувати новітні екотехнології та системи управління життєвим циклом виробництва для забезпечення ресурсозбереження та зниження негативного впливу на довкілля.

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Дослідження параметрів моделі проточного відстійника на математичній моделі визначення ефективності очистки води забрудненої механічними домішками.

Нижче подана методика розрахунку параметрів горизонтальних відстійників на моделі у вигляді словесно-аналітичного алгоритму.

Вихідні дані: максимальна витрата стічних вод Q , м³/год; концентрація в стоках завислих частинок речовин C , мг/л; необхідний ступінь очищення стоків або припустимий вміст завислих частинок речовин в освітленій воді $C_{зр}$, мг/л (його величину беруть із санітарних норм); u – гідравлічна крупність частинок, які необхідно видалити для забезпечення необхідної ефективності очищення E , (вона становить 50 – 98 %). Гідравлічна крупність впливає на швидкість відстоювання стоків, яка у свою чергу залежить від кривих кінетики відстоювання, отриманих у лабораторних умовах. Розрахунок гідравлічної крупності частинок виконується за такою формулою:

$$u = \frac{1000HK}{t_1(HK/h_1)^n}, \quad (3.1)$$

де H – глибина проточної частини відстійника, м; K – коефіцієнт

використання об'єму відстійника; t_1 – тривалість відстоювання в лабораторному циліндрі при висоті шару h_1 , протягом якого досягається необхідний ефект освітлення; n – коефіцієнт пропорційності, що залежить від агломерування завислих частинок речовин у процесі осадження в різних шарах води ($h_1 > h_2$), його розраховують, використовуючи таку формулу:

$$n = \frac{lgt_1 - lgt_2}{lgh_1 - lgh_2}, \quad (3.2)$$

де h_1 і h_2 – висота шарів відстоювання в лабораторних умовах, мм; t_1 і t_2 – тривалість відстоювання у відповідних шарах, коли досягається необхідний ефект, с.

В очисних системах найбільш поширені горизонтально розміщені відстійники з такими розмірами: довжина 24...30 м, ширина кожного з робочих відділень 9 м, кількість відділень 4...8, глибина зони відстоювання 3...4 м (рис. 3.1).

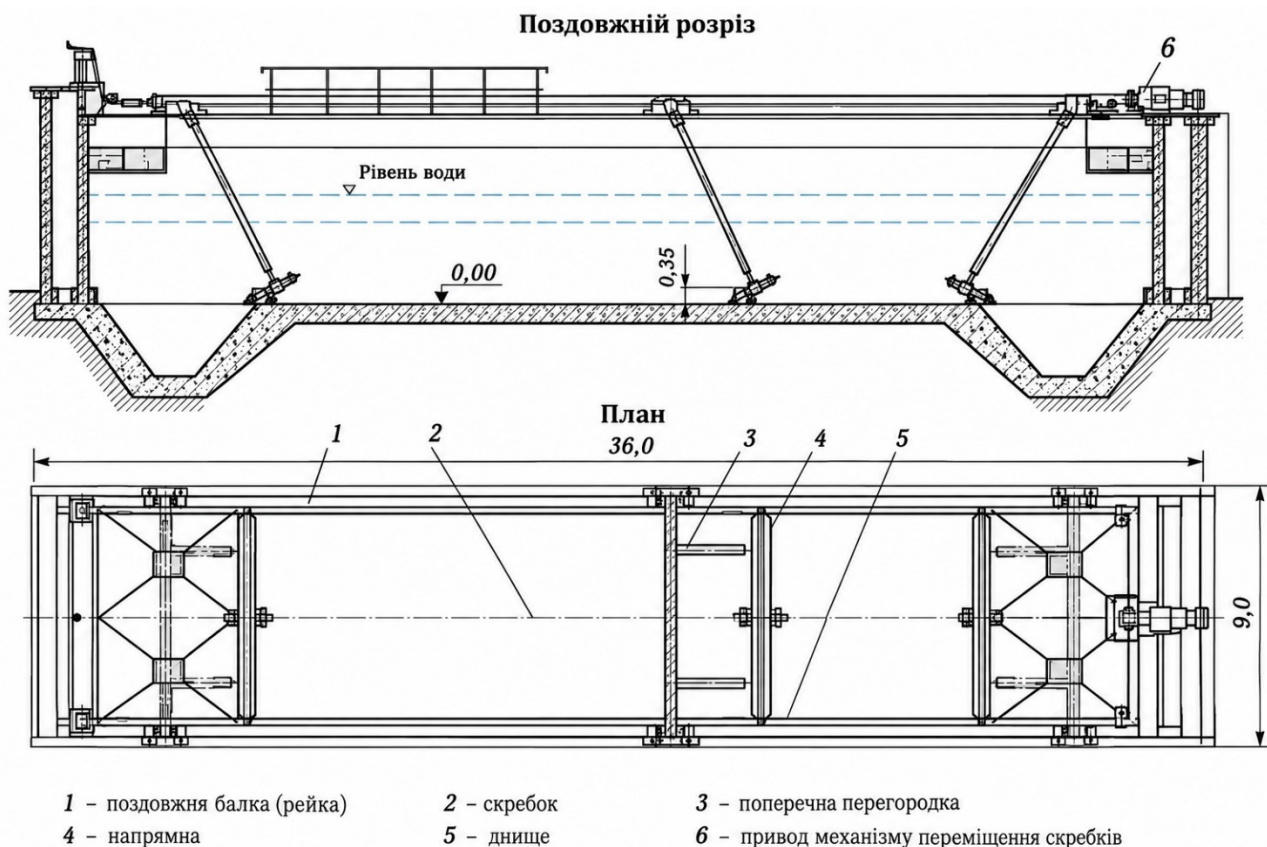


Рисунок 3.1. Горизонтальний первинний відстійник:

1 – канат; 2 – балка; 3 – візок; 4 – динамометр; 5 – шкребок; 6 – електропривід

Середня тривалість відстоювання в таких апаратах становить 1...1,5 год. Технічні характеристики таких відстійників наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики первинних горизонтальних відстійників

Показник	Пропускна здатність очисних споруд, тис. м³/добу				
	25	35	50	70	100
Витрати води, м³/год	1400	1900	2600	3500	4900
Пропускна здатність з тривалістю відстоювання 1,5 год, м³/год	1160	1740	2130	3200	4260
Геометричні розміри відстійників, м:					
• довжина	24	24	30	30	30
• ширина	6	6	9	9	9
Кількість відстійників	4	6	4	6	8
Фактичний об'єм, м³	1740	2610	3200	4800	6400

ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

Приклад розв'язування типової задачі.

Розрахувати основні параметри горизонтального первинного відстійника механічної очистки виробничих стічних вод із пропускною здатністю 120 м³/год.

Вихідні величини, що необхідно розрахувати як параметри очисних споруд, наведено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Зведені вихідні параметри очисних споруд, одиниці розмірності їх та величини або формули для їх визначення

Показник	Умове позначення	Одиниця виміру	Значення
Довжина відстійника	L	м	$L = \frac{vH}{K(u_0 - \omega)}$
Пропускна здатність відстійника	Q_1	м³/год	$Q_1 = 3,6KHBv$
Коефіцієнт використання об'єму відстійника	K	безрозмірний	0,5
Робоча глибина відстійної частини	H	м	3
Ширина відстійника	B	м	9

Показник	Умовне позначення	Одиниця виміру	Значення
Швидкість потоку	v	мм/с	10
Гідравлічна крупність частинок	u_0	мм/с	$u_0 = \frac{1000HK}{t_1(HK/h_1)^n}$
Коефіцієнт пропорційності	n	безрозмірний	$n = \frac{lgt_1 - lgt_2}{lgh_1 - lgh_2}$
Висота шару відстоювання в лабораторних умовах	h_1 h_2	мм мм	200 1000
Тривалість відстоювання у відповідних шарах, коли досягається необхідний ефект очищення	t_1 t_2	с с	135 320
Концентрація завислих частинок у речовинах:			
• до очищення	$C_{зр}^1$	мг/л	120
• після очищення	$C_{зр}^2$	мг/л	45

Примітка: $\omega=0$, коли $v=5$ мм/с; $\omega=0,05$, якщо $v=10$ мм/с

Послідовність визначення основних параметрів відстійника механічної очистки:

1. Знаходимо коефіцієнт пропорційності, значення якого залежить від агломерування завислих частинок речовин у процесі осадження, таким чином:

$$n = \frac{lgt_1 - lgt_2}{lgh_1 - lgh_2} = \frac{lg135 - lg320}{lg200 - lg1000} = \frac{2,13 - 2,51}{2,3 - 3} = \frac{-0,43}{-0,7} = 0,54.$$

1. Визначаємо гідравлічну крупність частинок, а саме:

$$u_0 = \frac{1000HK}{t_1(HK/h_1)^n} = \frac{1000 \cdot 3 \cdot 5}{135 \cdot (3 \cdot 5/0,2)^{0,54}} = \frac{1500}{135 \cdot 2,968} = \frac{1500}{400,74} = 3,74 \text{ мм/с.}$$

3. Обчислюємо пропускну здатність відстійника, тобто

$$Q_1 = 3,6KHBv = 3,6 \cdot 0,5 \cdot 3 \cdot 9 \cdot 10 = 486 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Як бачимо, цей параметр відповідає проєктним і фактичним показникам припливу стічних вод.

2. Розраховуємо довжину горизонтального відстійника таким чином:

$$L = \frac{vH}{K(u_0 - \omega)} = \frac{10 \cdot 3}{0,5 \cdot (3,74 - 0,05)} = \frac{30}{0,5 \cdot 3,69} = 16,26 \text{ м.}$$

Порівнюючи отримане значення з фактичними витратами стічних вод, робимо висновок, що наявного відстійника буде достатньо для первинного механічного очищення стічних вод.

4. Ефективність механічного очищення в первинних горизонтальних

відстійниках розраховуємо як різницю значень концентрації завислих речовин у стічній воді до і після очисних споруд, а саме:

$$\eta = \frac{C_1 - C_2}{C_1} = \frac{120 - 45}{120} = 0,63.$$

Висновок. Ефективність очищення промислової стічної води становить 63 %.

КОНТРОЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

Ознайомитися з методикою розрахунку основних параметрів горизонтальних відстійників на його типовій моделі.

Засвоїти порядок розрахунку основних параметрів горизонтального відстійника для очищення води від механічних домішок.

Розрахувати необхідну кількість проточних відстійників з довжиною L , м для очищення стічної води підприємства від механічних домішок із пропускною здатністю Q , м³/год. Ширина відстійника B м, а робоча глибина відстійної частини дорівнює $H=3$ м. Коефіцієнт використання об'єму відстійника становить 0,5. Концентрація завислих частинок у речовинах до очищення $C_{зр}^1$, а після – $C_{зр}^2$ мг/л. Висота шару відстоювання в лабораторних умовах дорівнювала h_1 та h_2 мм, при цьому тривалість відстоювання у відповідних шарах становила t_1 та t_2 с. Величину зменшення гідравлічної швидкості ω прийняти рівною 0,05 м/с.

Початкові дані для розрахунку наведені у таблиці 3.3 згідно варіантів, який визначається останньою цифрою номера індивідуального навчального плану.

Таблиця 3.3 – Варіанти

Значення змінних	Номера варіантів (остання цифра номера залікової книжки)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Q , м ³ /год	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290
B , м	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5
h_1 , мм	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
h_2 , мм	640	680	720	760	800	1000	1100	1150	1200	1250
t_1 , с	110	120	130	140	150	160	180	190	200	210
t_2 , с	340	360	380	400	420	440	480	520	560	600
C_1 , мг/л	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
C_2 , мг/л	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80

Питання для самоконтролю

1. Наведіть вихідні дані необхідні для розрахунку параметрів горизонтальних відстійників на основі математичної моделі ефективності очищення води.
2. Як впливає гідравлічна крупність зважених у воді частинок на швидкість відстоювання та ефективність очищення стічних вод?
3. Назвіть типові розміри горизонтальних відстійників, що використовуються в очисних системах, зокрема їх довжина, ширина, кількість відділень та глибина зони відстоювання.
4. Яка середня тривалість відстоювання води в горизонтальних відстійниках і як вона впливає на ефективність очищення?

ПРАКТИЧНА РОБОТА №4

Обґрунтування та вибір конструктивних параметрів апаратів (циклонів) для сухої очистки від твердих аерозолів викидів в атмосферу зі стаціонарних джерел

Мета: Набуття навичок з визначення ефективності циклону для сухої очистки газу від пилу та інших твердих аерозолів.

В результаті виконання даної практичної роботи будуть сформовані наступні **результати навчання**:

Розробляти та реалізовувати комплексні науково-дослідні проекти, спрямовані на вдосконалення екологічних стандартів, підвищення рівня екологічної безпеки та мінімізацію техногенного навантаження в різних секторах економіки, у тому числі у ГМК.

Обґрунтовувати та впроваджувати новітні екотехнології та системи управління життєвим циклом виробництва для забезпечення ресурсозбереження та зниження негативного впливу на довкілля.

Завдання.

Ознайомитися з типовою схемою циклону для грубої та середньої очистки викидів з техногенних джерел від промислового пилу.

Засвоїти порядок визначення параметрів циклону для сухої очистки газу від пилу;

Підготувати електронний файл для звіту, що повинен містити:

- постановку задачі;
- вихідні дані;
- основні теоретичні положення методики та алгоритмів вирішення задачі;
- результат розрахунків відповідно до завдання;
- запропонувати новітнє рішення з підвищення ефективності роботи циклона
- висновки за конкретними результатами практичної роботи..

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Типова схема циклону для грубої та середньої очистки викидів з техногенних джерел від промислового пилу.

Дія циклону заснована на використанні сил тяжіння та інерції. Найчастіше для цього застосовують циклони (рис. 1). Видалення пилу в них протікає під дією відцентрових сил.

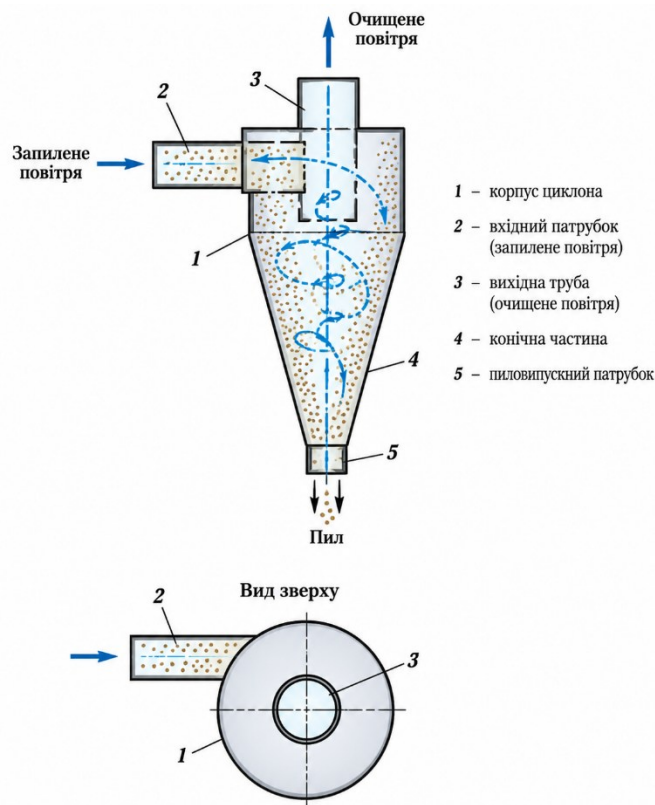


Рисунок 4.1. Схема циклону:

1 – корпус; 2 – вхідний патрубок; 3 – центральна випускна труба; 4 – конусна частина; 5 – приймач пилових часток.

Повітря потрапляє в циклон по дотичній через вхідний патрубок 2, рухається по спіралі і, перемістившись у низ конічної частини 4 корпусу 1, виходить з циклону через центральну трубу 3. Під дією відцентрових сил частки пилу відкидаються до стінок циклону і опускаються в нижню його частину, а звідти в приймач пилових часток 5.

Розрахунок ефективності пиловловлюючого циклона

Нижче наведений порядок розрахунку типових циклонів, що широко використовуються в промисловості для сухого очищення газів від пилу.

Ціль розрахунку – визначити кількість, тип і розмір циклонів, які забезпечують гранично допустимий уміст пилу у викидах C_v , мг/м³, вентиляційного повітря промислових підприємств.

Початкові дані:

Кількість газу Q_v , м³/з, що очищається;

Щільність газу при робочих умовах – ρ , кг/м³;

В'язкість газу при робочій температурі – μ_i , Па*з;

Дисперсний склад пилу;

Вхідна концентрація пилу – $C_{вх}$, г/м³;

Щільність часточок пилу – $\rho_{ч}$, кг/м³;

Склад речовини пилу.

Для характеристики дисперсного складу пилу використовують два параметри: середній розмір часточок пилу – α_m , мкм, і ступінь полідисперсності пилу – $\lg \sigma_r$, значення яких наведені в табл. 1.

Порядок розрахунку

1. Визначають припустимий уміст пилу C_v у викидах вентиляційного повітря промислових підприємств, мг/м³.

При об'ємній витраті повітря більший 15000 м³/ч

$$C_v = 100K_2,$$

де K_2 – коефіцієнт, що приймається залежно від ГДК пилу в повітрі робочої зони виробничого приміщення, значення якого наведене в табл. 4.1

При об'ємній витраті повітря 15000 м³/ч. і менше:

$$C_v = (160 - 14,4 \cdot Q_v) \cdot K_2.$$

Таблиця 4.1 – Значення α_m і $\lg \sigma_r$ для деяких видів пилу

Технологічний процес	Речовинний склад твердих аерозолів (пилу)	α_m , мкм	$\lg \sigma_r$
Заточування інструмента	Метал, абразив	38	0,214
Млино в кульовому млині	Цемент, оксиди металів	20	0,468
Сушіння вугілля в барабані	Кам'яне вугілля	15	0,334
Виробництво алюмінію	Al ₂ O ₃	20	0,352
Прокатне й ковальсько-пресове господарство	Оксиди заліза	15	0,412

Таблиця 4.2 – Значення коефіцієнта K_2

ГДК, мг/м ³	2	2-4	4-6	>6
ДО ₂	0,3	0,6	0,8	1,0

2. Визначають необхідну ефективність очищення газу за формулою

$$\eta = \frac{(C_{вх} - C_{г})}{C_{вх}}.$$

3. Вибирають тип циклона для очищення повітря. Циліндрові циклони типу ЦН (ЦН-11, ЦН-15, ЦН-15В, ЦН-24) призначені для вловлювання сухого пилу аспіраційних систем, золи з димових газів котелень, які працюють на твердому паливі, пилу із сушарок і т.п. при початковій запиленості від 0,3 до 4000 г/м³. Циклони мають продуктивність від 100 до 68000 м³/ч, гідравлічний

опір при оптимальних швидкостях газу близько 750 Па й забезпечують ефективність очищення від 0,83 до 0,975 для пилу з розміром часточок більше 20 мкм. За тих самих умов експлуатації співвідношення ефективності роботи циклонів серії ЦН становить:

$$\eta_{\text{ЦН-15}}/\eta_{\text{ЦН-11}}=0,885; \quad \eta_{\text{ЦН-24}}/\eta_{\text{ЦН-11}}=0,795,$$

при цьому вищу ефективність мають циклони з підвищеним гідравлічним опором (ЦН-11, ЦН-15).

Конічні циклони серії СК (СДК-ЦН-33, СК-ЦН-34, СК-ЦН-34М) мають підвищену ефективність очищення в порівнянні із циклонами серії ЦН, що досягається за рахунок підвищеного гідравлічного опору.

4. Вибравши тип циклона, визначають оптимальну швидкість газу $V_{\text{опт}}$ у перетинанні циклона діаметром D відповідно табл. 3.

Таблиця 4.3 – Значення оптимальної швидкості газу для циклонів ЦН і СК

Тип циклона	ЦН-24	ЦН-154	ЦН-15	ЦН-11	СДК-ЦН-33	СК-ЦН-34	СК-ЦН-34М
$V_{\text{опт}}$	4,5	3,5	3,5	3,5	2,0	1,2	2,0

5. Обчислюють діаметр циклона за формулою

$$D = \sqrt{\frac{4Q_v}{\pi * V_{\text{опт}}}}$$

Придбане значення D округляють до найближчого типового значення внутрішнього діаметру циклона. Застосовують наступний ряд внутрішніх діаметрів D , мм: 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2400, 3000.

Якщо розрахунковий діаметр циклона перевищує його максимально припустиме значення, то необхідно застосувати два й більше паралельно встановлених циклони.

6. За обраним діаметром циклона знаходять фактичну швидкість руху газу в циклоні

$$V = \frac{4 * Q_v}{\pi * n * D^2}$$

де n -число циклонів.

Фактична швидкість у циклоні не повинна відрізнятись від оптимальної більш ніж на 15 %.

7. Визначають коефіцієнт гідравлічного опору одиночного циклона

$$E = K_1 * K_2 * E_{500},$$

де K_1 – поправочний коефіцієнт на діаметр циклона (табл. 4.4); K_2 – поправочний коефіцієнт на запиленість газу (табл. 4.5); E_{500} – коефіцієнт гідравлічного опору одиночного циклона діаметром 500 мм (табл. 4.6).

Таблиця 4.4 – Значення поправочного коефіцієнта K_1

Тип циклону	Значення K_1 для D, мм			
	200	300	400	500 і більш
ЦН-11	0,95	0,96	0,99	1,0
ЦН-15, ЦН-15В, ЦН-24	0,9	0,93	1,0	1,0
СКД-ЦН-33, СК-ЦН-34, СК-ЦН-34М	1,0	1,0	1,0	1,0

Таблиця 4.5 – Значення поправочного коефіцієнта K_2

Тип циклону	Значення K_2 при $C_{вх}$, мг/м ³						
	0	10	20	40	80	120	150
ЦН-11	1	0,96	0,94	0,92	0,90	0,87	0,85
ЦН-15	1	0,93	0,92	0,91	0,9	0,87	0,86
ЦН-15В	1	0,93	0,92	0,91	0,89	0,88	0,87
ЦН-24	1	0,95	0,93	0,92	0,90	0,87	0,86
СКД-ЦН-33	1	0,81	0,785	0,78	0,77	0,76	0,745
СК-ЦН-34	1	0,98	0,947	0,93	0,915	0,91	0,9
СК-ЦН-34М	1	0,99	0,97	0,9	-	-	-

Таблиця 4.6 – Значення коефіцієнту гідравлічного опору E_{500}

Тип циклону	Значення E_{500}		Тип циклону	Значення E_{500}	
	при виході в атмосферу	при виході в гідравлічну мережу		при виході в атмосферу	при виході в гідравлічну мережу
ЦН-11	250	245	СКД-ЦН-33	600	520
ЦН-15	163	155	СКД-ЦН-34	1150	1050
ЦН-15В	170	165	СК-ЦН-34М	2000	
ЦН-24	80	75			

8. Визначають гідравлічний опір циклону

$$\Delta P = E \cdot \rho \cdot v^2 / 2.$$

9. Визначають ефективність очищення газу в циклоні

$$\eta_p = 0.5 \cdot [1 + \Phi(x)],$$

де $\Phi(x)$ - таблична функція від параметра

$$X = \frac{\lg \left(\frac{d_m}{d_{50}^t} \right)}{\sqrt{\lg^2(\sigma_\eta) + g^2(\sigma_r)}}.$$

Типові значення d_{50}^T і $\lg \sigma_\eta$ для шкірного типу циклону приведені в табл. 4.7.

Таблиця 4.7– Значення d_{50}^T і $\lg \sigma_\eta$ для циклонів різних типів

Тип циклона	ЦН-24	ЦН-15В	ЦН-15	ЦН-11	КДС-ЦН-33	СК-ЦН-34	СК-ЦН-34М
$d_{50, \text{мкм}}^T$	8,5	6,0	4,5	3,65	2,31	1,95	1,3
$\lg \sigma_\eta$	0,308	0,283	0,352	0,352	0,364	0,308	0,340

Наведені в табл. 4.7 дані визначені для типового циклону $D_T = 0,6$ м і наступних розумів роботи:

$$\rho_r = 1930 \text{ кг/м}^3; \mu_T = 22,2 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{з}; V = 3,5 \text{ м/с}.$$

Для урахування впливу відхилень розумів роботи від типових величина d_{50} визначається із співвідношення:

$$\alpha_{50} = \alpha_{50}^T * \sqrt{\left(\frac{D}{D_T}\right) * \left(\frac{\rho_{rT}}{\rho_r}\right) * \left(\frac{\mu}{\mu_T}\right) * \left(\frac{V_T}{V}\right)}$$

За обчисленим значенням X , знаходять згідно з табл. 4.8 значення $\Phi(x)$.

10. Зіставляють розрахункові значення ефективності очищення η з тими значеннями η , що вимагається. Якщо розрахункове значення ефективності очищення виявиться менше необхідного за розумів припустимого викиду пилку в атмосферу, то потрібно вибрати інший тип циклону з більшим значенням коефіцієнта гідравлічного опору.

Таблиця 4.8 – Значення функції $\Phi(x)$

X	-2,7	-2,0	-1,8	-1,6	-1,4
$\Phi(x)$	-0,0035	0,0228	0,0359	0,0548	0,0808
X	-1,2	-1,0	-0,8	-0,6	-0,4
$\Phi(x)$	0,1151	0,1587	0,2119	0,2743	0,3446
X	-0,2	0	0,2	0,4	0,6
$\Phi(x)$	0,4207	0,500	0,5793	0,6554	0,727
X	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6
$\Phi(x)$	0,7881	0,8413	0,8849	0,9192	0,9492
X	1,8	2,0	2,7		
$\Phi(x)$	0,9641	0,9772	0,9965		

Оптимальним варіантом вибору й розрахунку циклонів є варіант, коли необхідний ступінь очищення газів досягається при мінімальному гідравлічному опорі циклонів, що забезпечує мінімум енергетичних витрат на очищення.

Приклад розрахунку ефективності циклону

Початкові данні

Кількість газу Q_v , м³/с -350

Вихідна концентрація пилу $C_{вх}$, г/м³ -50

Газ – повітря

Порядок розрахунку

1. Визначення допустимого вмісту пилу у викидах вентиляційного повітря промислових підприємств, міліграм/м³;

При об'ємній витраті повітря більш 15000 м³/год:

$$C_v = 100 \cdot K_2;$$

При об'ємній витраті повітря 15000 м³/год і менш:

$$C_v = (16014,4 \cdot Q_v) \cdot K_2 = (160 - 14,4 \cdot 350) \cdot 0,3 = -1464$$

де K_2 – коефіцієнт, що приймається залежно від ГДК пилу в повітрі робочої зони виробничого приміщення, з табл. 4.2 $K_2 = 0,3$.

2. Визначення необхідної ефективності очищення газу:

$$\eta = \frac{(C_{вх} - C_v)}{C_{вх}} = \frac{50 + 1464}{50} = 30,28.$$

3. Визначення типу циклону для очищення вентиляційного повітря. Вибираємо циліндровий циклон «НДІОГАЗ» серії ЦН-11, призначеного для уловлювання сухих твердих аерозолів (пилу) в системах аспірації, золи з димових газових котелень, що працюють на твердому палеві, пилу з сушарок і т.п.

4. Визначивши тип циклону, визначаємо оптимальну швидкість газу $V_{оп}$ в перетині циклону діаметром D . Згідно з табл. 4.3 $V_{оп} = 3,5$ м/с.

5. Обчислення діаметру циклону за формулою

$$D = \sqrt{\frac{4Q_v}{\pi \cdot V_{оп}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 350}{3,14 \cdot 3,5}} = 11,28 \text{ мм}.$$

З ряду типових значень внутрішніх діаметрів D , мм, вибираємо найближче значення $D = 200$ мм.

6. По вибраному діаметру циклону знаходимо дійсну швидкість руху газу в циклоні:

$$V = \frac{4 \cdot Q_v}{\pi \cdot n \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 350}{3,14 \cdot 1 \cdot 0,2^2} = 0,011 \text{ м/с},$$

де n – кількість циклонів.

7. Визначення коефіцієнту гідравлічного опору одиночного циклону:

$$E = K_1 \cdot K_2 \cdot E_{500} = 0,95 \cdot 0,15 \cdot 250 = 217,3,$$

де K_1 – поправочний коефіцієнт на діаметр циклону, із табл. 4.4 $K_1 = 0,95$;

K_2 – поправочний коефіцієнт на заповнення газу, із табл. 2.5 $K_2 = 0,915$;

E_{500} – коефіцієнт гідравлічного опору одиночного циклону діаметром 500 мм, із табл. 2.6 $E_{500} = 250$.

8. Визначення гідравлічного опору циклону:

$$\Delta P = \frac{E \cdot \rho \cdot V^2}{2} = \frac{217,3 \cdot 250 \cdot 0,011^2}{2} = 3,29.$$

9. Визначення ефективності очищення газу в циклоні:

$$\eta_p = 0,5 \cdot [1 + f(x)], \text{ де}$$

$\Phi(x)$ – таблична функція від параметра:

$$X = \frac{\lg\left(\frac{d_m}{d_{50}^t}\right)}{\sqrt{\lg^2(\sigma_\eta) + \lg^2(\sigma_r)}} = \frac{\lg\left(\frac{200}{3,65}\right)}{\sqrt{\lg^2 0,352 + \lg^2 0,214}} = 2,15,$$

Типові значення $d_{50}^t, \lg \sigma_\eta$ для ЦН-11 беремо із табл. 4.7, $d_{50}^t = 3,65$; $\lg \sigma_\eta = 0,352$.

При $X=2,15$ $\Phi(x)=0,9782$, знаходимо η_p :

$$\eta_p = 0,5 \cdot [1 + f(x)] = 0,5 \cdot [1 + 0,9782] = 0,9891.$$

Висновки.

1. Ефективність обраного відповідно до умов циклону для грубого пилу з медіанним розміром частинок пилу 50 мкм склала приблизно 0,99.

2. Для підвищення ефективності роботи циклона як приклад новітнього рішення пропонується зрошування забрудненого повітря на вході у циклон тонкодисперсними екологічно безпечними краплями рідини, яка здатна змочувати певні тверді аерозолі, залежно від обраного об'єкту забруднених викидів в атмосферу.

Питання для самоконтролю

1. Які вихідні дані необхідні для розрахунку параметрів циклонів?
2. Як впливає дисперсний склад твердих аерозолів на ефективність очищення викидів в атмосферу зі стаціонарних джерел?
3. Назвіть типові розміри циклонів, що використовуються в системах аспірації?
4. Як впливає гідравлічний опір циклону на ефективність очищення викидів в атмосферу?

КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ

Навчальні досягнення здобувачів вищої освіти за результатами вивчення курсу оцінюватимуться за шкалою, що наведена нижче:

Рейтингова шкала	Інституційна шкала
90–100	відмінно
74–89	добре
60–73	задовільно
0–59	незадовільно

Здобувачі вищої освіти можуть отримати **підсумкову оцінку** з навчальної дисципліни на підставі поточного оцінювання знань за умови, якщо набрана кількість балів складатиме не менше як 60 балів.

Максимальне оцінювання:

Теоретична частина	Практична частина		Разом
	При своєчасному складанні	При несвоєчасному складанні	
60	40	30	100

Практичні роботи приймаються за контрольними запитаннями до кожної з роботи. Оцінювання практичних робіт здійснюється шляхом розрахунку середнього арифметичного балу за складеними практичними роботами.

Критерії оцінювання практичної роботи

За кожен практичну роботу здобувач вищої освіти може отримати наступну кількість балів:

40 балів: виявлено підвищений рівень засвоєння обсягу знань і набуття вмінь; якісно, ретельно, самостійно та в повному обсязі виконано завдання. Матеріал викладено в логічній послідовності, без мовних помилок, а власні висновки студента відповідають темі практичного завдання.

30 балів: показано оволодіння достатнім обсягом знань і вмінь під час виконання завдання; продемонстровано самостійність в отриманні розрахунково-аналітичних даних, але з незначними неточностями; точність і чіткість мови, а власні висновки студента відповідають темі практичного завдання.

20 балів: недостатньо показано оволодіння обсягом знань і вмінь під час виконання завдання; продемонстровано не самостійність в отриманні розрахунково-аналітичних даних, зміст роботи викладений не завжди у логічній послідовності, в роботі зафіксовані не значні помилки, а власні висновки студента не завжди відповідають темі практичного завдання.

10 балів: виявлено змістові й лексичні помилки, зміст роботи викладено не чітко й нелогічно, але продемонстровані знання й уміння в межах навчальної програми.

0 балів: наведено неправильну відповідь, до якої не надано жодних пояснень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ТА РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Базова

1. Важинський С. Е., Щербак Т. І. Методика та організація наукових досліджень : навч. посіб. Суми : СумДПУ імені А. С. Макаренка, 2016. 260 с.
2. Боголюбов В. М., Клименко М. О., Мельник Л. Г., Ракоїд О. О. Стратегія сталого розвитку : підручник / за ред. В. М. Боголюбова. Київ : ВЦ НУБіП України, 2018. 446 с.
3. Сардак С. Е. Основи наукових досліджень : навч. посіб. Дніпро : ДГУ, 2018. 103 с.
4. Данильян О. Г., Дзьобань О. П. Методологія наукових досліджень : підручник. 2-ге вид., перероб. і допов. Харків : Право, 2023. 488 с.
5. Ворошилова Н. В., Доценко Л. В., Кацевич В. В. Рекультивация і охорона земель. Практикум : навч. посіб. Херсон : Олді+, 2022. 164 с.
6. Войтків П., Іванов Є. Збалансоване природокористування : навч.-метод. посіб. Львів : ЛНУ ім. І. Франка, 2021. 182 с.
7. Екологічні основи збалансованого природокористування в агросфері : навч. посіб. / за ред. С. П. Сонька, Н. В. Максименко. Харків : ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2015. 572 с.
8. Кирильчук А., Наконечний Ю. Методологія та організація досліджень в науках про Землю : навч. посіб. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2021. 496 с.
9. Екологія та раціональне природокористування: освіта, наука і практика : матеріали міжнар. наук.-практ. конф., Ломжа–Житомир, 15 листоп. 2023 р. / за наук. ред.: З. Шарлович, Я. Лісовського, Р. Романюк. Ч. 2. Ломжа : MANS w Łomży, 2023. 286 с.

Допоміжна

1. Dreshpak O., Berezniak O., Berezniak O., Chechel P. The latest technologies for reuse of sludge of metallurgical enterprises in Ukraine. The Mining and Metal Sector: Integration of Business, Technology and Education : International Scientific and Technical Conference MININGMETALTECH 2023. 2023. Vol. 2. P. 185–188. DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-361-3-140>.
2. Dreshpak O., Berezniak O., Berezniak O. Wet high gradient magnetic separation of kaolin clay. Innovative Development of Resource-Saving Technologies and Sustainable Use of Natural Resources : Book of Abstracts of the 6th International Scientific and Technical Internet Conference. Petroșani : UNIVERSITAS Publishing, 2023. P. 157–159.
3. Hlukhoveria M., Mladetskyi I., Levchenko K., Borysovska O. Improving the technology of extracting coal concentrate from fly ash from thermal power plants.

Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2023. No. 4. P. 33–39. DOI: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-4/033>.

4. Berezniak O., Berezniak O. Classification of demagnetized magnetite in an upward laminar flow. Scientific Collection «InterConf+». 2022. No. 25 (125). P. 168–176. DOI: <https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.09.2022.016>.

5. Сотник І. М. Економічні основи ресурсозбереження : навч. посіб. Київ : Університетська книга, 2017. 284 с.

6. Амоша О. І., Нікіфорова В. А. Розвиток металургійної смарт-промисловості в Україні: передумови, проблеми, особливості, наслідки : наук.-аналіт. доп. Київ : Ін-т економіки пром-сті НАН України, 2019. 67 с.

7. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2050 року : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 21.04.2023 р. № 373-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/373-2023-%D1%80#n6> (дата звернення: 21.08.2026).

Навчальне видання

КОЛЕСНИК Валерій Євгенійович
БЕРЕЗНЯК Олександр Олександрович

НАУКОВІ ОСНОВИ РАЦІОНАЛЬНОГО ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

Методичні рекомендації до виконання практичних робіт
для здобувачів ступеня магістра за освітньо-професійною програмою
«Технології захисту навколишнього середовища» та освітньо-науковою
програмою «Ресурсозбереження в гірничо-металургійному комплексі»
зі спеціальності G2 Технології захисту навколишнього середовища

Видано в авторській редакції.

Електронний ресурс.
Підписано до видання 01.09.2026. Авт. арк. 1,3.

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка».
49005, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 19