

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

М'ЯКАЄВА ГАННА МИКОЛАЇВНА



УДК 504.5:502.51(043.3)

**МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОГЕННОГО ВПЛИВУ ОБ'ЄКТІВ
ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ НА ГІДРОСФЕРУ**

Спеціальність 21.06.01 – екологічна безпека

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Суми – 2018

Дисертація є кваліфікаційною науковою працею на правах рукопису.

Робота виконана на кафедрі прикладної екології Сумського державного університету Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор
Пляцук Леонід Дмитрович,
Сумський державний університет
Міністерства освіти і науки України,
завідувач кафедри прикладної екології.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Дмитриков Валерій Павлович,
Полтавська державна аграрна академія
Міністерства освіти і науки України,
професор кафедри технологій та обладнання
переробних і харчових виробництв,
м. Полтава;

кандидат технічних наук, доцент
Мельник Олена Сергіївна,
Глухівський національний педагогічний
університет ім. Олександра Довженка
Міністерства освіти і науки України,
завідувач кафедри безпеки життєдіяльності,
фізичного виховання та здоров'я людини,
м. Глухів.

Захист дисертації відбудеться 28 вересня 2018 р. о 14 год 00 хв на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 55.051.04 в Сумському державному університеті за адресою: 40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2, корп. Ц, ауд. 204.

Із дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Сумського державного університету за адресою: 40007, Україна, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2, та на сайті спеціалізованої вченої ради Д 55.051.04 за електронною адресою: <http://sumdu.edu.ua/ukr/scientific/scientific-council/32-scientific/scientific-council/5367.html>.

Автореферат розісланий 27 серпня 2018 року.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 55.051.04



І. Ю. Аблеєва

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Енергетика є найважливішою галуззю, яка визначає ефективність розвитку економіки і технічний рівень усієї промисловості країни. Споживаючи природні ресурси, підприємства теплоенергетики є джерелами комплексного забруднення навколишнього середовища. Особливо гостро стоїть проблема забруднення поверхневих і підземних вод, які використовуються в господарсько-побутовому та питному водопостачанні. Забруднюючі речовини з відхідних газів теплоелектростанцій, які осідають на прилеглих територіях, із атмосферними опадами переносяться в поверхневі та ґрунтові води. Фільтрат із золошлаковідвалів надходить у підземні водоносні горизонти. Тому особливого значення набуває оцінка техногенного впливу та розробка ефективних методів захисту гідросфери від забруднення.

Моделювання техногенних процесів є одним із основних засобів прогнозування та попередження несприятливого впливу об'єктів теплоенергетики на гідросферу. Успішне вирішення завдань прогнозу рівня забруднення гідросфери ґрунтується на використанні математичних моделей, що враховують фізичні особливості поширення домішок, зв'язок між концентраціями домішок і параметрами середовища. Крім того, під час здійснення прогнозних розрахунків реальних об'єктів слід враховувати неоднорідність розрахункової області, а також граничні умови для областей складної конфігурації. У такому випадку використання аналітичних методів не дає задовільних результатів. Для вирішення подібних завдань необхідне застосування чисельних методів, програмна реалізація яких дозволить проводити розрахунки, що дають можливість прогнозу техногенного впливу та стану гідросфери.

Розробка ефективних методів прогнозування впливу теплоенергетичних об'єктів на гідросферу є актуальним завданням, оскільки дозволить істотно підвищити рівень надійності цих об'єктів та екологічної безпеки.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота спрямована на вирішення екологічних проблем України відповідно до визначених Постановою Верховної Ради України «Основних напрямків державної політики України в галузі охорони довкілля, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки». Напрямок, мета, та результати дослідження відповідають Державній програмі України згідно наукового напрямку 04.06 – «Екологічно чиста енергетика і ресурсозберігаючі технології», плану заходів на 2010 – 2030 рр. з реалізації «Енергетичної стратегії України на період до 2030 р.», затвердженому розпорядженням Кабінету Міністрів України № 1071-р від 24.07.2013.

Робота виконана відповідно до плану науково-дослідних робіт кафедри прикладної екології Сумського державного університету за темами «Розробка шляхів поліпшення екологічної ситуації міст і промислових зон» (номер держреєстрації 0111U006335), «Зниження техногенного навантаження на навколишнє середовище підприємств хімічної, машинобудівної промисловості та теплоенергетики» (номер держреєстрації 0116U006606) згідно з науково-технічною

програмою Міністерства освіти і науки України, у яких автор брав участь як виконавець.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є вирішення наукової проблеми підвищення рівня екологічної безпеки при функціонуванні об'єктів теплоенергетики шляхом моделювання їх впливу та розробки заходів із зменшення техногенного навантаження на гідросферу.

Для досягнення мети були поставлені наступні завдання:

- провести аналіз впливу об'єктів теплоенергетики на довкілля та факторів, які визначають захищеність гідросфери;
- визначити чинники, які впливають на фільтрацію та інфільтрацію забруднюючих речовин (ЗР) у районах розташування об'єктів теплоенергетики;
- провести математичне моделювання процесу перенесення забруднюючих речовин у ґрунтах;
- оцінити вплив теплоенергетичного об'єкта на екологічний стан прилеглих територій;
- провести моніторинг впливу діючого об'єкта теплоенергетики на гідросферу;
- розробити заходи щодо зниження впливу золошлаконакопичувача на гідросферу.

Об'єкт дослідження – вплив об'єктів теплоенергетики на гідросферу.

Предмет дослідження – моделювання процесів перенесення забруднюючих речовин у місцях розміщення об'єктів теплоенергетики.

Методи дослідження. Математичне моделювання здійснювали за допомогою програмного продукту COMSOL Multiphysics. Під час проведення експериментальних досліджень міграції забруднюючих речовин у зоні впливу теплоелектростанції були використані такі методи: атомно-абсорбційний для визначення вмісту важких металів, гравіметричний для визначення вмісту твердих частинок; потенціометричний для визначення рН. При дослідженні сорбційних властивостей захисного екрану застосовувалися методи: рентгенівської дифрактометрії, фотоколориметрії, титрометрії. Під час дослідження золошлакових відходів: фізичні методи для визначення дисперсного складу та механічних властивостей. Обробку результатів експериментів проводили за допомогою пакета програм Microsoft Office Excel.

Наукова новизна одержаних результатів.

- уперше з метою підвищення рівня екологічної безпеки гідросфери у зоні впливу теплоенергетичних об'єктів обґрунтовано наукові підходи до комплексної оцінки техногенного навантаження, що додатково враховує аераційний шлях надходження забруднюючих речовин, інфільтрацію та фільтрацію;
- удосконалено математичну модель перенесення забруднюючих речовин у ґрунті шляхом урахування інтенсивності атмосферних опадів під час інфільтрації, що дозволило з високою точністю спрогнозувати рівень техногенного навантаження на довкілля у зоні впливу об'єктів теплоенергетики;
- уперше на підставі запропонованої математичної моделі теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено закономірності поширення

забруднюючих речовин через профіль ґрунту під час їх фільтрації та інфільтрації у зоні розташування об'єктів теплоенергетики, що дозволило отримати відповідні поля концентрацій;

– уперше на підставі даних проведеного моніторингу підземних вод на діючому об'єкті теплоенергетики встановлено фактори, що обумовлюють хімічний склад води, та обґрунтовано дестабілізуючі чинники екологічної безпеки компонентів гідросфери;

– набули подальшого розвитку технічні рішення щодо зниження техногенного навантаження на гідросферу місць складування золошлакових відходів шляхом створення протифільтраційних екранів з місцевої сировини.

Практичне значення одержаних результатів.

Розроблена математична модель використовується для прогнозу впливу теплоелектростанцій на гідросферу та встановлення закономірностей просторового розподілу концентрацій забруднюючих речовин, які шляхом інфільтрації та фільтрації надходять у підземні води та поверхневі водні об'єкти.

Практична реалізація запропонованого рішення щодо застосування глинистих матеріалів як протифільтраційного екрану в місцях складування золошлакових відходів теплоелектростанцій дозволила зменшити техногенне навантаження на гідросферу під час фільтрації забруднюючих речовин.

Дослідження гранулометричного складу, фізичних та радіаційних властивостей золошлакових відходів Сумської теплоелектроцентралі (ТЕЦ) показало можливість їх використання у будівництві та промисловості будівельних матеріалів, що зменшує об'єми твердих відходів та вплив теплоенергетичних об'єктів на довкілля у цілому та гідросферу зокрема.

Результати дисертаційного дослідження упроваджено в навчальний процес кафедри прикладної екології Сумського державного університету в дисциплінах «Моделювання та прогнозування стану навколишнього середовища», «Техноекологія» (акт впровадження від 16.05.2018 р.).

Результати дисертаційної роботи щодо прогнозування впливу золошлакозачистувачів ТЕЦ на гідросферу та розробки протифільтраційного екрана передані в КЕП Чернігівська ТЕЦ (акт впровадження від 09.10.2017 р.).

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота є самостійним, завершеним дослідженням автора в галузі екологічної безпеки. Всі основні положення дисертації, що винесено на захист, одержано автором самостійно. Автором сформульовано мету та завдання для можливості проведення моделювання техногенного впливу об'єктів теплоенергетики на гідросферу; розроблено математичну модель перенесення забруднюючих речовин при фільтрації та інфільтрації; проведені експериментальні дослідження міграції забруднюючих речовин у зоні впливу об'єктів теплоенергетики; здійснена обробка багаторічних результатів польових досліджень якості підземних вод; розроблені пропозиції щодо улаштування захисного екрану; експериментально досліджені процеси сорбції; проведені дослідження гранулометричного складу та фізичних властивостей золошлакових відходів. Вибір теми дисертаційної роботи, постановка завдань дослідження, обговорення одержаних результатів були проведені разом із науковим

керівником – доктором технічних наук, професором Л. Д. Пляцуком. Внесок автора в роботах, опублікованих у співавторстві, наведений у списку праць за темою дисертації.

Апробація матеріалів дисертації. Основні наукові і практичні положення та результати дисертаційних досліджень доповідалися і обговорювалися на 10 науково-практичних та науково-технічних конференціях різного рівня: III Всеукраїнській міжвузівській науково-технічній конференції «Сучасні технології у промисловому виробництві» (м. Суми, 2014 р.); Всеукраїнській науково-практичній інтернет-конференції «Ресурсозбереження і хіміко-екологічні проблеми технологічних процесів (м. Харків, 2014 р.); XIII Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми екологічної безпеки» (м. Кременчук, 2015 р.); IV Всеукраїнській міжвузівській науково-технічній конференції «Сучасні технології у промисловому виробництві» (м. Суми, 2016 р.); IV Міжнародному конгресі «Сталий розвиток: Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування» (м. Львів, 2016 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «ЕКОГЕОФОРУМ-2017. Актуальні проблеми та інновації» (м. Івано-Франківськ, 2017 р.); Науково-технічній конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів факультету технічних систем та енергоефективних технологій «Сучасні технології у промисловому виробництві» (м. Суми, 2017 р.); Семінарі «Сталий розвиток – погляд у майбутнє» (м. Львів, 2017 р.); V Міжнародній науковій конференції молодих вчених «Екологія, неоекологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування» (м. Харків, 2017 р.); V Всеукраїнській міжвузівській науково-технічній конференції «Сучасні технології у промисловому виробництві» (м. Суми, 2018 р.).

Публікації. За результатами дисертаційної роботи опубліковано 18 наукових праць: 8 статей, зокрема 7 статей – у наукових фахових виданнях з переліку МОН України, з них 5 статей індексуються міжнародними наукометричними базами даних, 1 стаття у спеціалізованому закордонному виданні, 10 тез доповідей на конференціях.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, списку використаних джерел, 6 додатків. Загальний обсяг роботи становить 200 сторінок. Дисертаційна робота містить 34 рисунки та 24 таблиці за текстом. Список використаних джерел кількістю 162 найменування – на 17 сторінках. Додатки розміщені на 32 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, сформульовано мету, завдання досліджень, наведено наукову новизну, практичну цінність одержаних результатів, а також зазначено особистий внесок здобувача.

Перший розділ присвячений аналізу впливу об'єктів теплоенергетики на гідросферу, огляду методів оцінки та моделювання техногенного навантаження. Аналіз літературних джерел засвідчив актуальність прогнозування та розробки

природоохоронних заходів щодо попередження забруднення гідросфери під час експлуатації теплоелектростанцій.

Екологічний стан навколишнього середовища в районах розміщення теплоелектростанцій досліджували відомі вітчизняні та закордонні науковці – Барієва Е. Р., Кутовий В. О., Черенцова А. А., Миленька М. М., Горова А. І., Крупська Л. Т. Зверєва В. П., Кулиненко О. Р., Ріхтер Л. А. та інші. Проведений огляд методів оцінки стану прилеглих до об'єктів теплоенергетики територій. Встановлено, що теплоелектростанції чинять комплексний вплив на довкілля, а потенційними джерелами забруднення гідросфери є зона аерації підприємства та ділянка золошлаконакопичувача, з яких відбувається перенесення забруднюючих речовин шляхом фільтрації.

Перенесення розчинних забруднюючих речовин під час фільтрації залежить від великої кількості факторів навколишнього середовища і процесів, які в ньому протікають. Ступінь впливу техногенних процесів може відрізнятися для різних типів ґрунтів, забруднюючих речовин, розглянутих моментів часу і простору. Все вищенаведене свідчить про складність опису процесів фільтрації, що викликає потребу у моделюванні цих процесів.

У сфері математичного моделювання гідроекологічних досліджень опубліковані праці Лаврика В. І., Олійника А. П., Шестакова В. М., Полубаринової-Кочиної П. Я., Кундаса С. П. та інших. Отримано аналітичні рішення для визначення швидкості фільтрації та концентрації забруднюючих речовин, які використовують ряд спрощень та припущень. Розроблені моделі адаптовані до конкретних випадків, і не дають повною мірою можливості прогнозування стану об'єктів гідросфери при нестационарних умовах. Вирішити проблему прогнозування оцінки впливу об'єктів теплоенергетики при урахуванні нестационарності потоку та фізичних властивостей фаз дозволяють чисельні методи математичного моделювання процесів фільтрації.

У **другому розділі** описані об'єкт та методи дослідження, методики проведення експериментів, експериментальні установки.

На прикладі Сумської ТЕЦ розглянуті техногенні та природні фактори, які впливають на міграцію забруднюючих речовин у поверхневі та підземні води в зоні розташування об'єктів теплоенергетики. Дана характеристика природно-кліматичних умов м. Суми. Проаналізовано викиди підприємства, склад золошлакових відходів. Охарактеризована мережа пунктів спостереження за станом підземних вод.

У розділі наведені методи дослідження вмісту забруднюючих речовин у сніговому покриві, ґрунті, рослинах, воді. Приведені схеми експериментальних установок для дослідження фільтрації забруднюючих речовин та сорбційних властивостей захисного екрана.

У **третьому розділі** наведено математичні моделі профільної фільтрації та масоперенесення і дається опис алгоритмів їх чисельного рішення.

Моделювання міграції забруднюючих речовин буде мати відмінності при описі процесу в зоні аерації та в зоні впливу золошлаконакопичувача. З тіла золошлаконакопичувача перенесення забруднюючих речовин буде здійснюватись у

водонасиченому ґрунті за рахунок фільтрації. У зоні аерації теплових електростанцій розглядаємо інфільтрацію забруднюючих речовин, які, осідаючи з відхідних газів на поверхні ґрунту, переносяться вниз по профілю з опадами та талою водою. Швидкість перенесення забруднюючих речовин при інфільтрації буде залежати від кількості опадів і кліматичних умов, які будуть впливати на випаровування вологи з поверхневих шарів ґрунту.

З огляду на велику складність аналізу просторових потоків, а також того, що умови, які потребують просторового уявлення потоку, зустрічаються у прогнозних задачах порівняно рідко, розглядаємо задачу профільної фільтрації.

Для моделювання поширення забруднюючих речовин розглянемо систему рівнянь, яка включає в себе рівняння руху фільтраційного потоку та конвективної дифузії. Нестационарний плосковертикальний фільтраційний потік описується диференціальним рівнянням

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_f \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_f \frac{\partial H}{\partial z} \right) - Q = \eta \frac{\partial H}{\partial t}, \quad (1)$$

де k_f – коефіцієнт фільтрації, м/добу; $H = \frac{p}{\gamma_w} + z$ – напір, м; γ_w – питома вага води, Н/м³; Q – питома інтенсивність джерела або стоку, 1/добу; η – коефіцієнт пружної ємності пласта, 1/м; t – час, с.

Граничні умови першого роду задають значення напорів на межі ґрунт – вода

$$H = H^*(t), \quad (2)$$

де $H^*(t)$ – задана функція часу.

Положення межі також може змінюватися в часі.

Граничні умови другого роду задають витрату через межу і мають вигляд

$$k_f \left(\frac{\partial H}{\partial x} n_x + \frac{\partial H}{\partial z} n_z \right) = -V_n, \quad (3)$$

де n_x , n_z – складові одиничної зовнішньої нормалі до межі; V_n – задана витрата через межу області забруднення, м³/с.

В якості вихідних умов можуть бути прийняті будь-які значення напорів, які узгоджуються з граничними умовами.

Процес масоперенесення плосковертикальним потоком описується диференціальним рівнянням:

$$D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + D \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} - \vec{V} \left(\frac{\partial c}{\partial x} + \frac{\partial c}{\partial z} \right) = \frac{\partial(\theta c)}{\partial t} - qc^*, \quad (4)$$

де c – концентрація забруднюючої речовини, мг/дм³; c^* – концентрація забруднюючої речовини в джерелі забруднення, мг/дм³; q – продуктивність джерела забруднення, м³/добу; θ – пористість, м³/м³.

З урахуванням водонасичення та гідродинамічної дисперсії рівняння (4) запишемо у вигляді

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\theta S_w \tilde{D}_{xx} \frac{\partial c}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\theta S_w \tilde{D}_{zz} \frac{\partial c}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\theta S_w \tilde{D}_{xz} \frac{\partial c}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\theta S_w \tilde{D}_{zx} \frac{\partial c}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial x} (V_x c) - \frac{\partial}{\partial z} (V_z c) = \frac{\partial}{\partial t} [\theta S_w c + (1 - \theta) c_s] - q c^*, \quad (5)$$

де V_x, V_z – компоненти вектора швидкості фільтрації; $\tilde{D}_{xx}, \tilde{D}_{zz}, \tilde{D}_{xz}, \tilde{D}_{zx}$ – компоненти тензора гідродинамічної дисперсії; $\theta S_w \tilde{D}_{xx} = \alpha_T |V| + (\alpha_L - \alpha_T) \frac{V_x^2}{|V|} + \theta S_w \tau D^*$; $\theta S_w \tilde{D}_{zz} = \alpha_T |V| + (\alpha_L - \alpha_T) \frac{V_z^2}{|V|} + \theta S_w \tau D^*$; $\theta S_w \tilde{D}_{xz} = \theta S_w \tilde{D}_{zx} = (\alpha_L - \alpha_T) \frac{V_x V_z}{|V|}$; τ – коефіцієнт звивистості; S_w – водонасичення, м³/м³; $|V|$ – модуль вектора швидкості фільтрації; c_s – концентрація адсорбованої на поверхні твердих частинок забруднюючої речовини, мг/дм³; α_T, α_L – коефіцієнти поперечної і поздовжньої дисперсії.

Припускаємо, що концентрації c та c_s пов'язані лінійною рівноважною ізотермою. У результаті перетворень отримаємо рівняння

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(D_{xx} \frac{\partial c}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_{zz} \frac{\partial c}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(D_{xz} \frac{\partial c}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_{zx} \frac{\partial c}{\partial x} \right) - V_x \frac{\partial c}{\partial x} - V_z \frac{\partial c}{\partial z} = \theta S_w k \frac{\partial c}{\partial t} + q(c - c^*). \quad (6)$$

Граничні умови першого роду задають значення концентрацій на межі ґрунт-рідина

$$c = c^*(t), \quad (7)$$

де $c^*(t)$ – функція, що залежить від часу.

Граничні умови другого роду задають дисперсійні витрати речовини через межу фільтрації і мають вигляд

$$D_{xx} \frac{\partial c}{\partial x} n_x + D_{zz} \frac{\partial c}{\partial z} n_z = -q_c^D, \quad (8)$$

де q_c^D – задана витрата речовини, кг/добу; n_x, n_z – складові одиничного вектора нормалі до межі.

Початкові умови являють собою задання значень концентрацій у всій розрахунковій області.

При розгляді нестационарних процесів при інфільтрації в рівнянні (6) враховували зміну водонасичення з часом. Залежність водонасичення від часу після опадів t_d виразимо у вигляді

$$S_w = f(t_d) = \begin{cases} S_w = 1, \text{ при } t_d = 0; \\ S_w = \frac{1 - \frac{0,1Q(1+W_n)}{V_{gp}}}{W_0}, \text{ при } t_d > 0; \end{cases} \quad (9)$$

де Q – маса води, яка видалена шляхом випаровування, кг/год; W_n – початкова вологість ґрунту, %; $V_{гр}$ – об'єм ґрунту, м³; W_o – вологість при повному водонасиченні, %; $W_0 = \alpha W_T$; α – коефіцієнт, який дорівнює для пісків та супісків 0,75–0,7; суглинків – 0,6–0,55; глин – 0,5–0,45; W_T – вологість на межі текучості, %.

Для рішення задач використовували метод скінченних елементів.

При розв'язанні нестационарної задачі профільної фільтрації використовували кроково-ітераційну процедуру інтегрування за часом. Розрахунковий часовий інтервал розбивали на проміжки інтегрування Δt . На кожному кроці інтегрування просторову дискретизацію невідомої функції $H(x, z, t)$ здійснювали на сітці трикутних скінченних елементів. Для рішення системи скінченних елементів використовували метод додаткових потоків.

При розв'язанні нестационарної задачі масоперенесення розрахунковий часовий інтервал розбивали на проміжки інтегрування Δt . Далі на кожному кроці за часом застосовували неявну різницеву схему. Просторову дискретизацію невідомої функції концентрації $c(x, z, t)$ здійснювали на сітці трикутних елементів. Апроксимація для конвективних членів проводилася за допомогою зважуючих функцій. В інших випадках використовуються стандартні функції форми. При введенні зважуючих функцій основна увага приділялась значенням концентрацій у вузлах, розташованих вгору по потоку. Таким чином, при переважанні конвекції у процесі масоперенесення враховували той факт, що протягом розрахункового часового інтервалу на величину концентрації в будь-якому елементі значно впливає конвективний приплив речовини із суміжного елемента, розташованого вище за потоком.

Алгоритм розв'язання задач реалізовано у програмному продукті COMSOL Multiphysics. Наведені алгоритми використовувались для розв'язання одновимірних та двовимірних задач моделювання забруднення об'єктів гідросфери в зоні розташування об'єктів теплоенергетики. При моделюванні фільтрації ЗР була розрахована одновимірна задача перенесення речовини при течії забруднених вод з постійною швидкістю V .

Розглядаємо нестисливу рідину ($\rho = \text{const}$, $\mu = \text{const}$) в однорідному ґрунті ($k_f = \text{const}$). Вважаємо, що течія забруднених вод відбувається вздовж осі z , яка направлена від поверхні вертикально вниз. Бокові межі області розповсюдження ЗР не впливають на процес фільтрації. Моделювання проводилось за умови постійного вологонасичення $S_w = \text{const}$. Забруднююча речовина KCl . Для розрахунку приймалися дані: $\theta = 0,35$; $\alpha_L = 0,005$ м; $\tau = 0,7$; $D = 10^{-11}$ м²/с; $k_f = 0,1$ м/добу.

Початкові умови: $c(z; 0) = 0$.

Граничні умови: при $z=0$ м $c(0; t) = c_0$; при $z=L$ $c(L; t) = c$.

Розв'язок рівняння при наведених початкових та граничних умовах дозволив одержати профілі концентрацій забруднюючих речовин при фільтрації у різні моменти часу (рис. 1).

Для перевірки адекватності математичної моделі фільтрації забруднюючих речовин проводились експерименти на фільтраційній установці. Фільтрація проводилася у стаціонарних умовах. Колонка, наповнена ґрунтом, була насичена дистильованою водою. Потім починалася подача розчину KCl у колонку. Під час

фільтрації розчину періодично визначалася концентрація іонів Cl^- на виході з колонки і фіксувався час проходження ЗР.

Порівняння результатів моделювання з експериментальними даними (рис. 2) показало, що похибка розрахунку менша за 5 %. Виходячи з вищевикладеного, можна зробити висновок, що розроблена математична модель адекватно описує процеси фільтрації.



1 – 1 рік; 2 – 2 роки; 3 – 4 роки;
4 – 6 років

Рисунок 1 – Зміна концентрації ЗР по товщині шару ґрунту при фільтрації у різні моменти часу

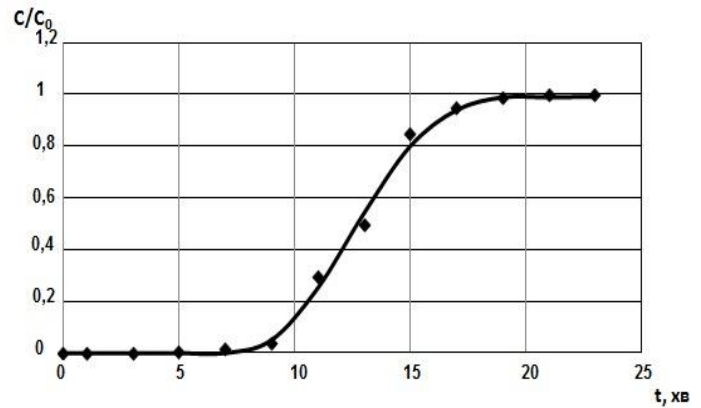


Рисунок 2 – Зміна концентрації ЗР від часу при фільтрації: лінія – розрахунок за математичною моделлю, точки – експериментальні дані

При моделюванні процесу міграції забруднюючих речовин у зоні аерації об'єктів теплоенергетики враховували перенесення поллютантів з атмосферними опадами шляхом інфільтрації. Розглядали нестационарну задачу профільної фільтрації, потім з урахуванням її результатів розв'язували задачу перенесення ЗР. При цьому в рівнянні (6) враховували зміну водонасичення з часом.

Для моделювання перенесення забруднюючих речовин при інфільтрації приймалися такі умови: інтенсивність дощових опадів 77 мм/міс; середня температура повітря – 19,2 °С, відносна вологість повітря – 70%, що характерно для метеоумов м. Суми в липні місяці. Приймаємо, що температура та відносна вологість поверхні ґрунту дорівнює температурі та відносній вологості приповерхневого шару повітря. У першому наближенні розглядаємо насичення ґрунту тільки повітрям, тиск приповерхневого шару повітря дорівнює атмосферному. Рішення задачі дозволило отримати залежність концентрації забруднюючої речовини по глибині ґрунту в певний момент часу після випадіння дощу (рис. 3). Аналіз отриманої залежності показує, що максимальна концентрація забруднюючих речовин у зоні інфільтрації спостерігається на глибині 20–30 см від поверхні ґрунту. Перевірка адекватності математичної моделі перенесення ЗР при інфільтрації проводилась при порівнянні результатів математичного моделювання та експериментальних досліджень за вмістом іонів Ni^{2+} у ґрунтах зони аерації Сумської ТЕЦ (рис. 4). Аналіз наведених на рис. 4 даних свідчить, що похибка розрахунку складає 5–7%.



Рисунок 3 – Зміна концентрації ЗР при інфільтрації у момент часу 5 діб

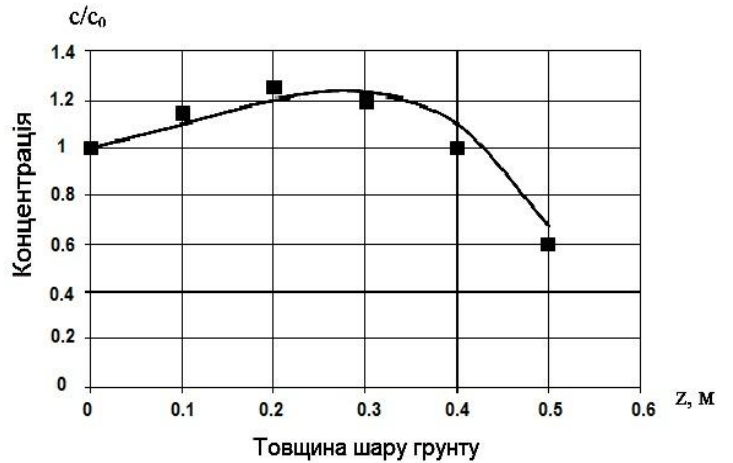


Рисунок 4 – Порівняння результатів моделювання та експериментальних даних: лінія – розрахунок, точки – експериментальні дані

Розроблена математична модель використана для рішення двовірної задачі моделювання фільтрації забруднюючих речовин із золошлаконакопичувача.

При розрахунках приймали умови золошлаконакопичувача Сумської ТЕЦ. Джерело забруднення – золошлаконакопичувач розміром 180 м x 300 м. Ґрунт однорідний, з коефіцієнтом фільтрації $k_f = 0,1$ м/добу; товщина шару ґрунту $L = 7$ м; пористість $\theta = 0,35$; коефіцієнт молекулярної дифузії $D = 0,04$ м²/рік; коефіцієнти поздовжньої та поперечної дисперсії $\alpha_L = 0,05$ м, $\alpha_T = 0,005$ м. Із золошлаконакопичувача надходять забруднюючі речовини з концентрацією $c^* = 1$ мг/м³. Інтенсивність дощових опадів $q = 0,6$ м/рік. Нижню межу шару ґрунту вважаємо непроникною.

У результаті отримали ізолінії концентрації забруднюючої речовини при надходженні забруднення протягом 5 років (рис. 5) та 10 років (рис. 6).

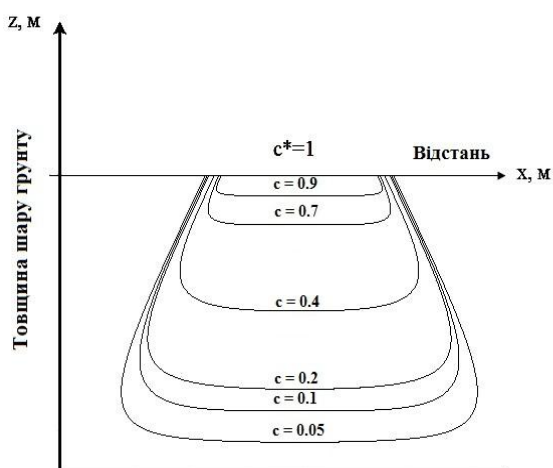


Рисунок 5 – Ізолінії концентрації забруднюючої речовини при надходженні забруднення 5 років

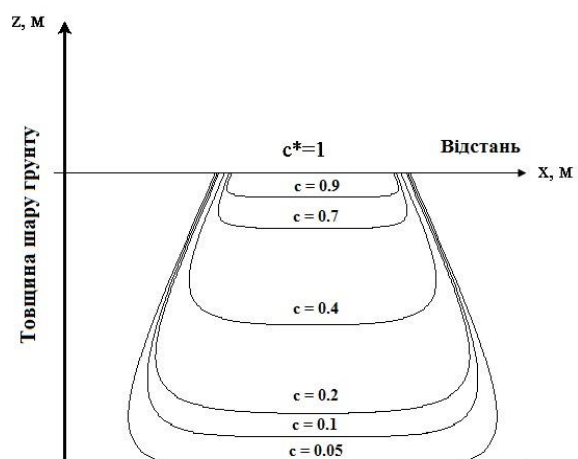


Рисунок 6 – Ізолінії концентрації забруднюючої речовини при надходженні забруднення 10 років

Четвертий розділ дисертаційної роботи присвячено дослідженню міграції забруднюючих речовин у зоні впливу Сумської ТЕЦ. Для оцінки впливу підприємства на екологічний стан прилеглих територій, визначення шляхів міграції ЗР були проведені дослідження снігового покриву, ґрунтів та рослинності в районі розташування ТЕЦ та золошлакозакладу. Для оцінки ролі аераційного шляху міграції забруднюючих речовин у загальному рівні забруднення проводились дослідження снігового покриву в зоні аерації Сумської ТЕЦ. Контрольні зразки проб були відібрані на відстані 10 км від джерела викидів. У пробах відібраного снігу визначали рН, вміст твердих частинок та важких металів. Одержані дані свідчать, що розташування Сумської ТЕЦ на підвищенні та значна висота труб (62 м та 100 м) сприяють «перекиду» забруднюючих речовин. Це пояснює максимальні концентрації забруднювачів на відстані 1000 м (рис. 7).

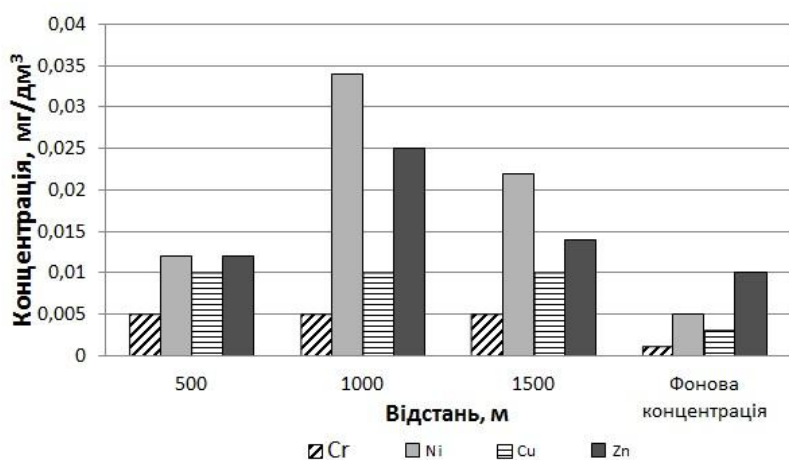


Рисунок 7 – Залежність концентрації забруднюючих речовин в сніговому покриві від відстані (південно-східний напрямок)

Комплексну оцінку ступеня забруднення снігового покриву проводили за сумарним показником забруднення. Відповідно до сумарного показника забруднення у зоні впливу Сумської ТЕЦ радіусом 1500 м від джерела спостерігається припустимий та низький рівень забруднення снігового покриву. Максимальні значення концентрацій ЗР спостерігаються в південно-східному напрямку.

Відбір проб ґрунту в зоні аерації Сумської ТЕЦ здійснювався у тих же точках, що і відбір снігу, та на відстані 100 м по периметру золошлакозакладу. Результати досліджень ґрунтів у зоні аерації Сумської ТЕЦ показали перевищення фонових концентрацій досліджуваних важких металів у верхньому шарі ґрунту в південно-східному напрямку, що відповідає найбільшим концентраціям забруднюючих речовин у сніговому покриві та свідчить про аерогенне забруднення ґрунтів забруднюючими речовинами, які містяться у відхідних газах ТЕЦ. Результати дослідження вмісту важких металів у ґрунтах зони аерації Сумської ТЕЦ наведені на рис. 8, у ґрунтах біля золошлакозакладу – на рис. 9. Як показують дані, вміст іонів важких металів нижчий у зоні аерації, ніж у точках відбору проб біля золошлакозакладу, що свідчить про вплив накопичення золошлакових відходів на екологічний стан ґрунтів.

Комплексну оцінку ступеня забруднення ґрунтів проводили за сумарним показником забруднення.

Отримані дані свідчать про припустимий та низький рівень забруднення ґрунтів у зоні аерації Сумської ТЕЦ, залежно від напрямку вітру та глибини

горизонту, середній рівень забруднення ґрунтів на глибині 0–20 см і низький – на глибині 20–40 см у зоні розташування золошлакозаклада

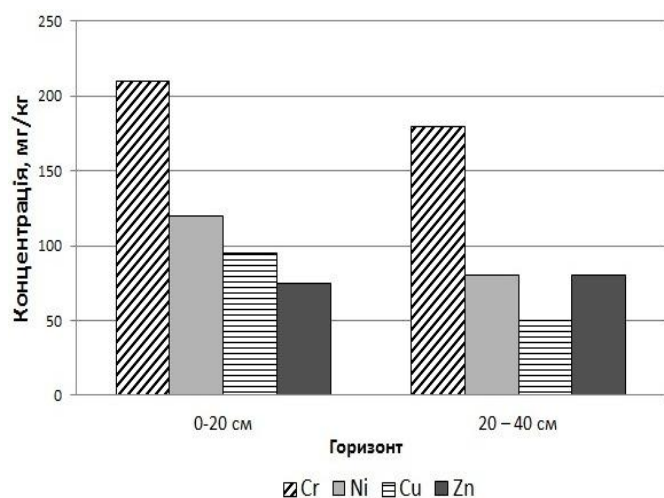


Рисунок 8 – Концентрація ЗР у пробах ґрунту в зоні аерації Сумської ТЕЦ на відстані 1000 м від станції (південно-східний напрямок)

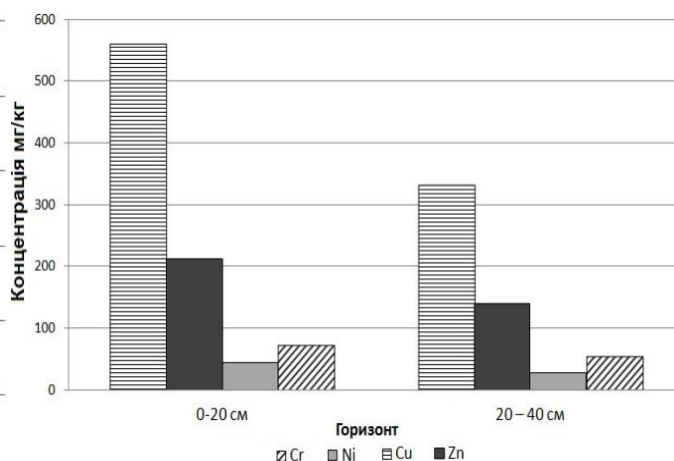


Рисунок 9 – Концентрація ЗР у пробах ґрунту в зоні золошлакозаклада Сумської ТЕЦ

Для визначення інтенсивності транслокаційного механізму перенесення ЗР проводився аналіз рослинного матеріалу. Відбір рослинності проводився в тих же точках, що і відбір ґрунту. Для аналізу використовували наземні частини рослин кульбаби лікарської та пирію повзучого. Дослідження проводились під час зупинки вегетації, коли спостерігається максимальне накопичення важких металів. Кульбабу збирали в червні, пирій повзучий – у серпні.

Величина інтенсивності накопичення важких металів рослинністю визначалась коефіцієнтом біологічного поглинання та коефіцієнтом біогеохімічної активності, який визначався як сума коефіцієнтів біологічного поглинання.

У результаті дослідження встановлено, що для досліджуваних елементів вміст їх у тканинах надземних органів рослин у більшій мірі корелює із вмістом у талій воді, у меншій мірі – із вмістом у ґрунті. Це пояснюється інтенсивним метаболізмом рослин у весняний період, а також біодоступністю та високим вмістом рухомих форм елементів у талій воді.

З метою виявлення впливу Сумської ТЕЦ на підземні води проводились дослідження складу підземних вод у спостережних свердловинах на майданчику ТЕЦ та в зоні золошлакозаклада, а також обробка моніторингових даних за період з 2009 по 2017 рік. За даними моніторингових досліджень у всіх спостережних свердловинах на майданчику ТЕЦ за період спостереження значних коливань хімічного складу підземних вод не виявлено. Водневий показник рН також майже не відрізняється по свердловинах і становить близько 7,1. Мінералізація води змінюється несуттєво, коливаючись майже однаково по всіх свердловинах (рис. 10). Перевищень ГДК забруднюючих речовин для підземних вод у всіх свердловинах на майданчику ТЕЦ не виявлено.

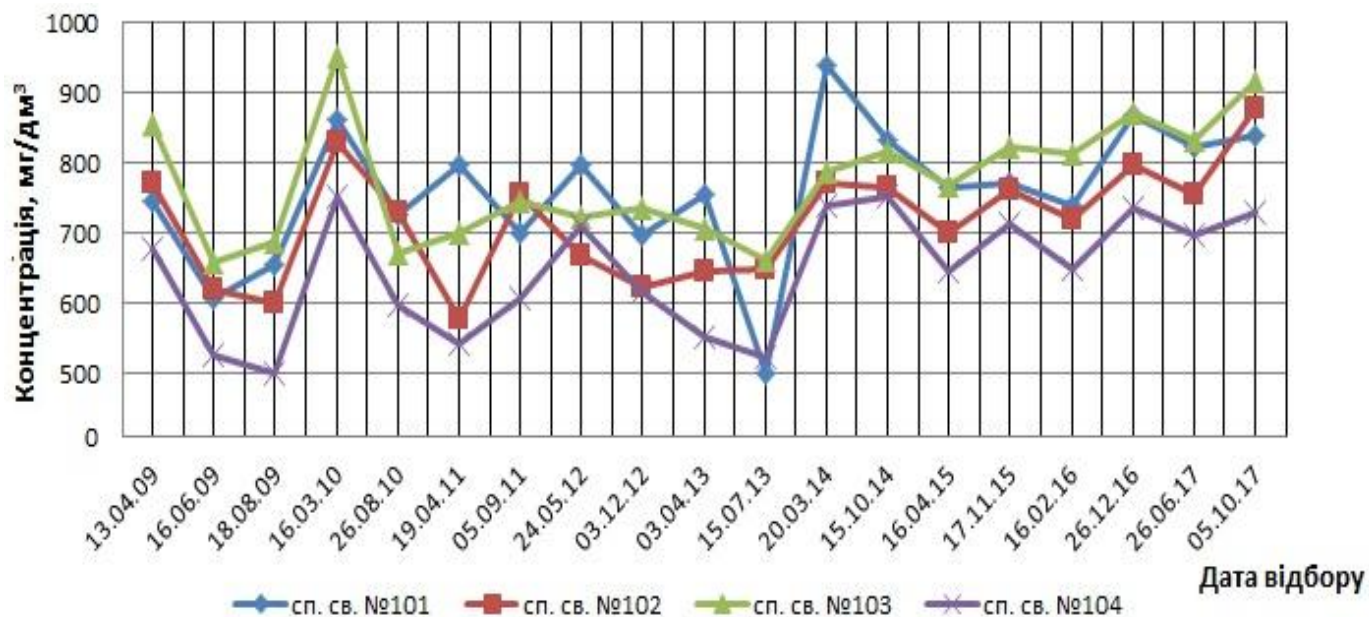


Рисунок 10 – Мінералізація підземних вод по спостережним свердловинам на майданчику ТЕЦ за період з 2009 по 2017 рік

Дослідження підземних вод у районі золошлаконакопичувача показали, що вода у свердловинах має мінералізацію в 530–1800 мг/дм³ при повільному зменшенні мінералізації по мірі віддалення від золовідвалу. Динаміка зміни мінералізації підземних вод у спостережних свердловинах наведена на рис. 11.

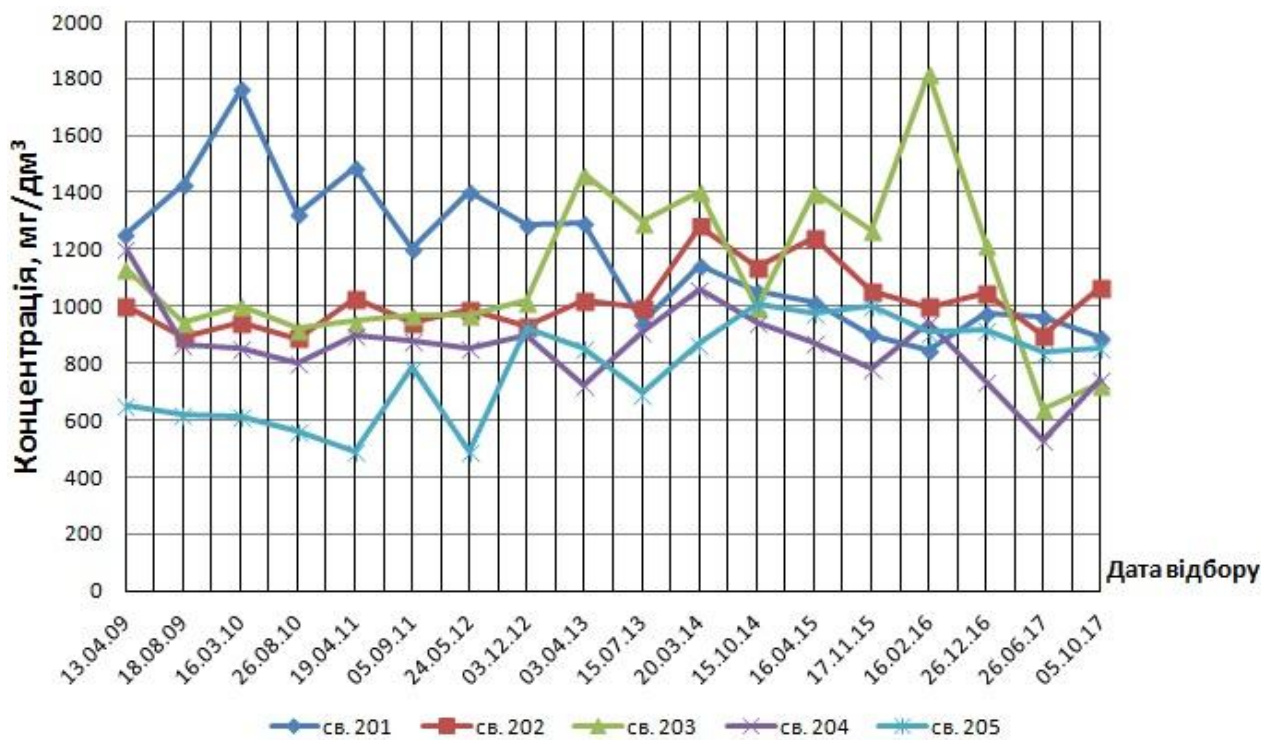


Рисунок 11 – Мінералізація підземних вод по спостережним свердловинам на майданчику золошлаконакопичувача

Відносна стабільність хімічних показників підземних вод на майданчику ТЕЦ пояснюється їх поглибленим заляганням (до 30 м від поверхні землі) і, відповідно, уповільненою реакцією на сезонні коливання в інфільтраційному живленні.

Опрацювання моніторингових даних за період спостережень з 2009 по 2017 рік показала, що проби зі свердловин золівдвалу відрізняються за хімічним складом, що обумовлено відмінностями у складі водовмісних порід на ділянках свердловин, та неглибоким заляганням підземних вод. Результати досліджень підземних вод вказують на наявність трансформації хімічного складу за рахунок фільтрації вод із золівдвалу. У воді спостережних свердловин спостерігається підвищений вміст у воді із спостережних свердловин хлорид- та сульфат-аніонів, катіонів натрію та заліза. Концентрації забруднюючих речовин не перевищують ГДК.

Проведені дослідження стану снігового покриву, ґрунтів, рослинності та підземних вод в зоні впливу Сумської ТЕЦ показали, що найбільше на забруднення підземних вод впливає фільтрація забруднюючих речовин із ділянки золошлаконакопичувача.

У п'ятому розділі розроблені заходи щодо зниження впливу золошлаконакопичувача Сумської ТЕЦ на гідросферу.

Методи щодо запобігання впливу золошлакових відходів на гідросферу розділимо на активні, які передбачають зменшення утворення відходів, та пасивні, які полягають у зменшенні впливу уже існуючих місць складування відходів на гідросферу (рис. 12).



Рисунок 12 – Методи зниження техногенного навантаження на гідросферу від місць складування золошлакових відходів

розчин з $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, який містив іонів Ni^{2+} від 0,025 моль-екв/дм³ до 0,35 моль-екв/дм³. Співвідношення Т : Р~1 : 20. Тривалість процесу становила 30 хв, температура 20 ± 1 °С.

З метою вибору матеріалу для протифільтраційного екрану досліджувались природні глини Сумської області, коефіцієнт фільтрації яких становить 0,001 м/добу. При виборі матеріалу враховували як сорбційні властивості глинистих матеріалів, так і їх здатність утримувати ЗР. Досліджувались глини Сумського (адсорбент 1) та Путивльського (адсорбент 2) районів Сумської області. Дослідження сорбції проводились на експериментальній установці при адсорбції іонів Ni^{2+} .

Для дослідження процесів адсорбції готували модельний

За отриманими даними побудовані ізотерми адсорбції (рис. 13).

Отримані результати показали вищу сорбційну активність адсорбенту № 1, до складу якого входить монтморилоніт. Для опису експериментальних даних застосовували рівняння ізотерми Фрейндліха, коефіцієнти в ньому наведені в таблиці 1. Отримані дані свідчать, що процес адсорбції задовільно описується рівнянням Фрейндліха.

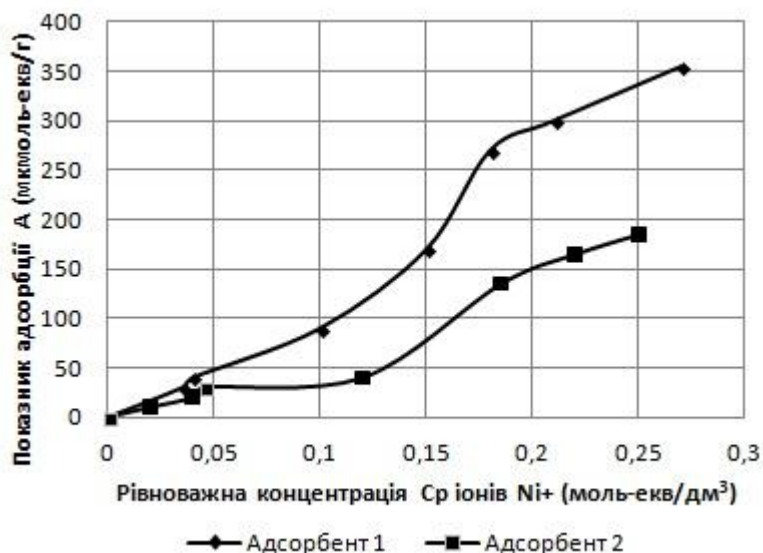


Рисунок 13 – Ізотерми адсорбції іонів Ni^{2+} різними адсорбентами

Таблиця 1 – Коефіцієнти в рівнянні ізотерми Фрейндліха

Зразок адсорбенту	Коефіцієнти в рівнянні ізотерми Фрейндліха		
	β	$1/n$	R^2
№1	0,302	0,83	0,94
№2	0,922	0,7	0,88

З метою створення протифільтраційного екрана необхідно було встановити не тільки адсорбційну здатність глин, але і визначити ступінь входження іонів важких металів у структуру глинистих мінералів. Для цього були проведені дослідження десорбції іонів важких металів із забруднених глинистих матеріалів, які показали відсутність іонів важких металів у фільтраті, що свідчить про іммобілізацію іонів у структурі глинистих мінералів.

Таким чином, здатність місцевих глин поглинати і утримувати іони важких металів дозволяє рекомендувати глини Сумського району для створення протифільтраційного екрана золошлаконакопичувача Сумської ТЕЦ. На основі проведених досліджень встановлено, що для ефективною захисної дії екрана золошлаконакопичувача товщина шару глини повинна бути не менше 0,5 м.

З метою розробки пропозицій щодо використання золошлакових сумішей Сумської ТЕЦ у будівництві було проведено обстеження золошлакових відходів. Відбір проб золошлакових матеріалів проводився з глибини 0,1–0,4 м по периметру та з центру секцій накопичувача. Відібрані зразки золошлаків були поділені на три групи:

- група №1 – золошлакова суміш з антицитового вугілля з розмірами частинок від 0,16 мм до 40 мм;
- група №2 – золошлаковий пісок з розмірами частинок від 0,16 мм до 0,63 мм;
- група №3 – зола-винесення з розмірами частинок від 0,08 мм до 0,16 мм.

Проведені дослідження показали, що відходи другої та третьої групи містять 58–62 % частинок палива, що не згоріло. Це вимагає проведення попередніх заходів по вилученню паливної складової. Пропонується відходи з високим вмістом палива брикетувати з попереднім збагаченням будь-яким органічним паливним матеріалом. Інші відходи можна використовувати в якості заповнювачів у будівництві.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішене актуальне науково-практичне питання моделювання техногенного впливу об'єктів теплоенергетики на гідросферу та розробки заходів щодо підвищення рівня екологічної безпеки в районах їх розташування.

1. З метою прогнозування техногенного впливу розглянуто та систематизовано фактори, які впливають на інфільтрацію та фільтрацію забруднюючих речовин у зоні розташування об'єктів теплоенергетики.

2. Удосконалено математичні моделі профільної фільтрації та масоперенесення шляхом урахування зміни водонасичення ґрунту, що дає можливість враховувати надходження атмосферних опадів і талої води при інфільтрації забруднюючих речовин у зоні аерації об'єктів теплоенергетики.

3. На основі методу скінченних елементів розроблені алгоритми чисельного рішення задач профільної фільтрації та масоперенесення забруднюючих речовин, які дозволяють проводити розрахунки для широкого діапазону значень параметрів моделі, враховувати неоднорідність розрахункової області, довільну конфігурацію меж розповсюдження забруднювача та зміну в часі граничних умов.

4. Порівняння результатів рішення задачі фільтрації забруднюючих речовин, отриманих у результаті моделювання, з результатами експериментальних досліджень, підтверджують адекватність математичної моделі. Відхилення становить 5 %.

5. Проведений розрахунок концентрації забруднюючих речовин в умовах інфільтрації при змінному вологовмісті показав, що найбільша концентрація забруднювачів у зоні аерації об'єктів теплоенергетики спостерігається на глибині 20 см. Перевірка адекватності математичної моделі при перенесенні іонів Ni^{2+} в умовах інфільтрації показала відхилення в результатах розрахунку та експериментальних досліджень на рівні 5–7 %.

6. З метою визначення основних шляхів міграції ЗР в об'єкти гідросфери проведені експериментальні дослідження снігового покриву та ґрунтів у зоні розташування теплоенергетичних об'єктів, які працюють на твердому паливі (на прикладі Сумської ТЕЦ). Виявлені перевищення фонових значень концентрацій важких металів у сніговому покриві в зоні аерації. Проведена оцінка забруднення ґрунтів за сумарним показником забруднення показала, що рівень забруднення ґрунтів у зоні аерації – припустимий, у зоні золівідвалу: для верхнього горизонту – середній, для нижнього – низький, що свідчить про комплексний вплив забруднення атмосферного повітря та міграції речовин із тіла золошлаконакопичувача.

7. Проведені дослідження підземних вод на ділянці золошлако-

накопичувача виявили підвищений вміст у воді із спостережних свердловин хлоридів, сульфатів, натрію, заліза, що свідчить про вплив фільтрації вод із золівідвалу.

8. З метою попередження міграції ЗР із золошлаконакопичувача розглянуто можливість створення протифільтраційного екрана із місцевих глинистих матеріалів. Встановлено механізм адсорбції іонів Ni^{2+} на глинистих мінералах та розраховано коефіцієнти в рівнянні Фрейндліха. З метою вивчення ефективності процесів поглинання іонів Ni^{2+} , а також встановлення ступеня входження іонів у структуру глинистих мінералів були проведені дослідження по десорбції відпрацьованих сорбентів. Результати дозволяють стверджувати, що іони нікелю надійно затримуються у структурі мінералів. Здатність глин поглинати і утримувати іони важких металів дозволяє використовувати їх в якості протифільтраційних екранів.

9. З метою розробки пропозицій щодо використання золошлакових сумішей Сумської ТЕЦ у будівництві було проведене обстеження ЗШВ, яке показало можливість використання відходів в будівництві. Золошлакову суміш з високим вмістом вугілля, що не згоріло, рекомендується використовувати для брикетування із попереднім збагаченням будь-яким органічним паливом матеріалом, інші відходи використовувати в якості заповнювачів у будівництві.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані наукові результати дисертації

1. Большаніна С.Б., Гурець Г.М., Балабуха Д.С., Міляєва Д.В. Очищення стічних вод гальванічних виробництв сорбційними методами. *Екологічна безпека*. 2014. № 1(17). С. 114–118.

Здобувачем проведено дослідження адсорбційних властивостей зразків природних глинистих матеріалів.

2. Пляцук Л. Д., М'якаєва Г. М., М'якаєв О. В. Моніторинг підземних вод в районі розміщення Сумської ТЕЦ. *Екологічна безпека.: Розробка та експлуатація систем екологічного моніторингу*. 2016. №2 (22). С. 29–34.

Здобувачем проведені дослідження якості підземних вод у районі розміщення теплоелектростанцій з відкритим способом зберігання золошлакових відходів.

3. Pliatsuk L.D., Hurets L.L., Miakaieva H.M., Miakaiev O.V. Assessing the impact of Sumy CHP on soil. *Environmental Problems*. 2017. Vol. 2, No. 2. P. 58–64.

Здобувач провів експериментальні дослідження снігового покриву та ґрунтів в зоні впливу Сумської ТЕЦ.

4. Hurets L. L., Kozii I. S., Miakaieva H. M. Directions of the environmental protection processes optimization at heat power engineering enterprises. *Journal of Engineering Sciences*. 2017. Vol. 4. Issue 2. P. G12–G16.

Здобувачем проведений аналіз напрямків оптимізації технологічних та природоохоронних процесів на об'єктах теплоенергетики, які дозволяють знизити вплив на навколишнє середовище.

5. М'якаєва Г.М. Вплив Сумської ТЕЦ на екологічний стан прилеглих територій. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* 2017. № 53 (1274). С.124–131.

6. Пляцук Л.Д., М'якаєва, Г.М., М'якаєв О.В. Оцінка захищеності підземних вод в районі розташування Сумської ТЕЦ. *Екологічна безпека: Оцінка та прогнозування техногенного впливу на довкілля.* 2017. № 2 (24). С.59–63.

Здобувачем проведений аналіз техногенних та природних факторів, які впливають на захищеність підземних вод в районі розташування Сумської ТЕЦ та розрахунок захищеності підземних вод.

7. Пляцук Л.Д., М'якаєва Г.М., М'якаєв О.В. Зниження впливу золошлаконакопичувача Сумської ТЕЦ на гідросферу. *Вісник НТУ «ХПІ»: Нові рішення в сучасних технологіях.* 2018. № 9 (1285). С. 230–235.

Здобувачем проведений аналіз складу золошлакової суміші та природних глинистих матеріалів для створення захисного екрану.

8. Пляцук Л.Д., М'якаєва Г.М., М'якаєв О.В. Математичне моделювання фільтрації забруднюючих речовин в місцях розташування золошлаконакопичувачів теплоелектростанцій. *Sciences Of Europe.* 2018. № 26. С. 28–33.

Здобувачем удосконалена математична модель профільної фільтрації забруднюючих речовин у місцях розташування золошлаконакопичувачів об'єктів теплоенергетики.

Наукові праці, які свідчать про апробацію матеріалів дисертації

9. Пляцук Л.Д., Гурець Г.М. Моніторинг підземних вод в районі золовідвалу Сумської ТЕЦ. *III Всеукраїнська міжвузівська науково-технічна конференція «Сучасні технології у промисловому виробництві» (Суми, 22–25 квітня 2014).* Суми, 2014. С.34–35.

10. Пляцук Л.Д., Гурець Г.М. Оцінка впливу золошлаконакопичувача Сумської ТЕЦ на підземні води. *I Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція «Ресурсозбереження і хіміко-екологічні проблеми технологічних процесів» (Харків, 10–12 листопада 2014).* Харків, 2014. С. 174–175.

11. Пляцук Л.Д., М'якаєва Г.М. Програми для прогнозування забруднення підземних вод. *XIII Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми екологічної безпеки»(Кременчук, 6–8 жовтня 2015).* Кременчук, 2015 р. С.73.

12. М'якаєва Г.М. Фактори впливу на інтенсивність забруднення підземних вод. *Сучасні технології у промисловому виробництві: IV Всеукраїнська міжвузівська науково-технічна конференція (Суми, 19–22 квітня 2016).* Суми, 2016. С.48.

13. Пляцук Л.Д., М'якаєва Г.М. Вплив золовідвала Сумської ТЕЦ на гідросферу. *IV Міжнародний конгрес «Сталий розвиток: Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування» (Львів, 21–23 вересня 2016).* Львів, 2016. С.46.

14. Пляцук Л.Д., М'якаєва Г.М., М'якаєв О.В. Прогнозування забруднення підземних вод в районі Сумської ТЕЦ. *Міжнародна науково-практична*

конференція «ЕКОГЕОФОРУМ-2017. Актуальні проблеми та інновації» (Івано-Франківськ, 22–25 березня 2017). Івано-Франківськ, 2017. С.304–305.

15. Пляцук Л.Д., М'якаєва Г.М. Переробка відходів газоочищення ТЕЦ. *Науково-технічна конференція викладачів, співробітників, аспірантів і студентів фак-ту «Технічних систем та енергоефективних технологій» «Сучасні технології у промисловому виробництві»* (Суми, 18–21 квітня 2017). Суми, 2017. С.136.

16. Пляцук Л.Д., М'якаєва Г.М. Вплив Сумської ТЕЦ на довкілля. *Семінар «Сталий розвиток - погляд у майбутнє» кафедри екології та збалансованого природокористування Національного університету «Львівська політехніка»* (Львів, 15 вересня 2017). Львів, 2017. С. 46

17. Пляцук Л.Д., М'якаєва Г.М. Біомоніторинг ґрунтів в зоні розміщення Сумської ТЕЦ. *V Міжнародна наукова конференція молодих вчених «Екологія, неоекологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування»* (м. Харків, 29–30 листопада 2017). Харків, 2017. С. 17.

18. Пляцук Л.Д., М'якаєва Г.М. Методи утилізації золошлакових відходів Сумської ТЕЦ. *V Всеукраїнська міжвузівська науково-технічна конференція «Сучасні технології у промисловому виробництві»* (Суми, 17–20 квітня 2018). Суми, 2018. С.181.

АНОТАЦІЯ

М'якаєва Г. М. Моделювання техногенного впливу об'єктів теплоенергетики на гідросферу. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 21.06.01 «Екологічна безпека». – Сумський державний університет, Суми, 2018.

Дисертаційна робота присвячена актуальній проблемі зменшення техногенного навантаження на гідросферу від об'єктів теплоенергетики шляхом моделювання та прогнозування процесів поширення забруднюючих речовин у зоні їх розташування. Результати роботи пройшли апробацію та були впроваджені.

У результаті проведених досліджень розроблена математична модель перенесення забруднюючих речовин по профілю ґрунту. Урахування зміни напору та водонасичення в залежності від інтенсивності опадів, кліматичних умов, дозволило провести прогнозування стану підземних вод у зоні аерації об'єктів теплоенергетики та при фільтрації із золошлаконакопичувача. На основі методу скінченних елементів розроблені алгоритми чисельного рішення задач профільної фільтрації та масоперенесення ЗР.

Для оцінки впливу об'єктів теплоенергетики, які працюють на твердому паливі, на стан прилеглих територій та виявлення шляхів міграції забруднюючих речовин проведені дослідження снігового покриву, ґрунтів та рослинності на вміст важких металів в зоні розташування Сумської ТЕЦ, які показали, що підприємство чинить негативний вплив на прилеглі території. Особливу небезпеку для гідросфери

становить золошлаконакопичувач.

З метою зменшення впливу місць складування золошлакових відходів на гідросферу розроблено заходи, які передбачають улаштування захисного екрану в золошлаконакопичувачі та переробку золошлаків. У результаті проведених досліджень підтверджена можливість використання місцевих глинистих матеріалів у якості сорбентів. Для розробки пропозицій щодо зменшення кількості відходів було проведене обстеження золошлаків Сумської ТЕЦ, яке показало можливість їх використання в будівництві.

Ключові слова: екологічна безпека, об'єкт теплоенергетики, гідросфера, фільтрація, конвекція, математична модель, чисельні методи, моніторинг.

АННОТАЦІЯ

Мякаева А.Н. Моделирование техногенного воздействия объектов теплоэнергетики на гидросферу. – Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (доктора философии) по специальности 21.06.01 «Экологическая безопасность». – Сумской государственной университет, Сумы, 2018.

Диссертационная работа посвящена актуальной проблеме уменьшения техногенной нагрузки на гидросферу от объектов теплоэнергетики путем моделирования и прогнозирования процессов распространения загрязняющих веществ в зоне их размещения. Результаты работы прошли апробацию и были внедрены.

В результате проведенных исследований разработана математическая модель переноса загрязняющих веществ по профилю почвы. Учет изменения напора и водонасыщения, в зависимости от интенсивности осадков, климатических условий, позволил провести прогнозирование состояния подземных вод в зоне аэрации теплоэлектростанций и при фильтрации с золошлаконакопителя. На основе метода конечных элементов разработаны алгоритмы численного решения задач профильной фильтрации и массопереноса загрязняющих веществ.

Для оценки влияния объектов теплоэнергетики на состояние прилегающих территорий и выявления путей миграции загрязняющих веществ проведены исследования снежного покрова, почв и растительности на содержание тяжелых металлов в районе воздействия Сумской ТЭЦ, которые показали, что предприятие оказывает отрицательное влияние на прилегающие территории. Особую опасность для гидросферы представляет золошлаконакопитель.

С целью уменьшения влияния мест складирования золошлаковых отходов на гидросферу разработаны мероприятия, которые предусматривают устройство защитного экрана в золошлаконакопителе и переработку золошлаков. В результате проведенных исследований подтверждена возможность использования местных глинистых материалов в качестве сорбентов. Для разработки предложений по

уменьшению количества отходов было проведено обследование золошлаков Сумской ТЭЦ, которое показало возможность их использования в строительстве.

Ключевые слова: экологическая безопасность, объекты теплоэнергетики, гидросфера, фильтрация, конвекция, математическая модель, численные методы, мониторинг.

ABSTRACT

Miakaieva H.M. Modeling of anthropogenic impact of heat power plants on the hydrosphere. – Qualifying scientific work on the manuscript right.

Thesis for a Candidate of Engineering Sciences Degree by specialty 21.06.01 – Ecological safety. Sumy State University, Sumy, 2018.

The thesis is devoted to the actual problem of reducing the technogenic load on the hydrosphere from thermal power plants by modeling and forecasting the processes of distribution of pollutants in the heat power facilities location zones. The results of the work were approved and implemented.

As a result of the research, a mathematical model of the transport of pollutants along the soil profile has been developed. Taking into account changes in pressure and water saturation, depending on the intensity of precipitation, climatic conditions, the model allowed to predict the state of groundwater in the aeration zone of thermal power plants and during filtration from the ash and slag dump. On the basis of the finite element method, algorithms for numerical solution of the problems of profile filtration and mass transfer of pollutants have been developed.

To assess the impact of Sumy TPP on the condition of adjacent territories and to identify migration pathways for polluting substances, snow cover, soil and vegetation, studies on the content of heavy metals were carried out, which showed that the enterprise had a negative impact on the adjacent territories. A special danger to the hydrosphere is impact of the ash and slug dump.

In order to reduce the influence of ash and slag dumps on the hydrosphere, measures that envisage the construction of a protective screen in the ash and slug dump and the processing of ash and slag have been developed. As a result of the conducted studies, the possibility of using local clay materials as sorbents was confirmed. In order to develop proposals for reducing the amount of waste, a research of ash and slag from Sumy TPP was conducted, which showed the possibility of their use in construction.

Key words: ecological safety, thermal power station, hydrosphere, filtration, convection, mathematical model, numerical methods, monitoring.

Підписано до друку 20.08.2018.
Формат 60x90/16. Ум. друк. арк. 1,1. Обл.-вид. арк. 0,9. Тираж 100 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач
Сумський державний університет,
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007.