

Міністерство освіти і науки України

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

**РЕСУРСОЕКОНОМНІ ТЕХНОЛОГІЇ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ
ПРОБЛЕМ У МІСТАХ**

1. ПЕТРАШ Олександр Васильович – кандидат технічних наук, доцент кафедри нафтогазової інженерії та технологій Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка».

2. ГОРЬ Олександр Григорович – кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельних конструкцій Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка».

3. МАКСЮТА Наталія Сергіївна – асистент кафедри теплогазопостачання, вентиляції та теплоенергетики Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка».

РЕФЕРАТ

Полтава – 2021

1. Вступ

Одним з обраних принципів реалізації екологічної політики в Україні є посилення ролі екологічного управління, базовими інструментами якого є моніторинг, упровадження та контроль ресурсоекономних технологій, еколого-інформаційна діяльність й активне використання вищезазначених технологій у питаннях утворення та контролю газоподібних, рідких і твердих відходів. Однак на сьогодні екологічний моніторинг не є регулярним і проводиться за обмеженим переліком окремих екологічних показників, що не дозволяє здійснювати об'єктивне оцінювання поточного стану довкілля, а також оперативно реагувати на зміни й події екологічної значущості шляхом використання ресурсоекономних технологій. Отже, метою проєкту є комплексне розв'язання проблем, пов'язаних з газоподібними, рідкими та твердими промисловими відходами.

Головним напрямом проєкту є розроблення наукового підґрунтя комплексного удосконалення застосування ресурсоекономних технологій при моніторингу у галузі **захисту і управління якістю атмосферного повітря**. Для досягнення мети передбачається аналіз діючої системи моніторингу довкілля (повітряної складової), внесення пропозиції концепції створення мережі громадського моніторингу атмосферного повітря агломерацій, складання проєктного макета візуалізації картографічних даних просторового розподілу концентрацій забруднюючих речовин та реалізація веб-сайту для публікацій результатів вимірювання рівня забруднення атмосферного повітря за допомогою громадського моніторингу.

У рамках проєкту передбачається й **утилізація рідких промислових відходів** шляхом улаштування підземних ізольованих резервуарів, виготовлених із ґрунтоцементних паль за допомогою бурозмішувальної технології, які об'єднані у непроникні суцільні роздільні екрани. Надійна ізоляція відходів забезпечується достатніми значеннями міцності та водонепроникності матеріалу, а технологія виготовлення дозволяє уникнути небажаних у містах шуму та вібрації, до того ж за рахунок використання місцевого матеріалу досягається ресурсоекономність улаштування резервуарів описаної конструкції.

Оскільки Україна входить до десятки країн-лідерів (9 місце) із кількістю твердих промислових відходів на одного мешканця (понад 10 тонн) і ця цифра щороку лише збільшується, то проблема їх утилізації та переробки потребує пошуку нових прогресивних шляхів вирішення. Наукові раціоналістичні підходи дають можливість перетворити недоліки близького розташування до густонаселених територій гігантів гірничої, металургічної та хімічної промисловості шляхом **використання нетоксичних шламово-шлакових відходів** при зведенні нових житлових кварталів. Це дозволить скоротити витрати на матеріали, їх транспортування та зберігання у разі виготовлення сучасних сталезалізобетонних будівельних конструкцій безпосередньо на місцях зберігання твердих відходів, а застосування технології замкнутого зовнішнього об'ємного листового і профільованого армування у поєднанні із композитними полімерами допоможе мінімізувати навіть токсичний вплив матеріалів на стадіях монтажу й експлуатації.

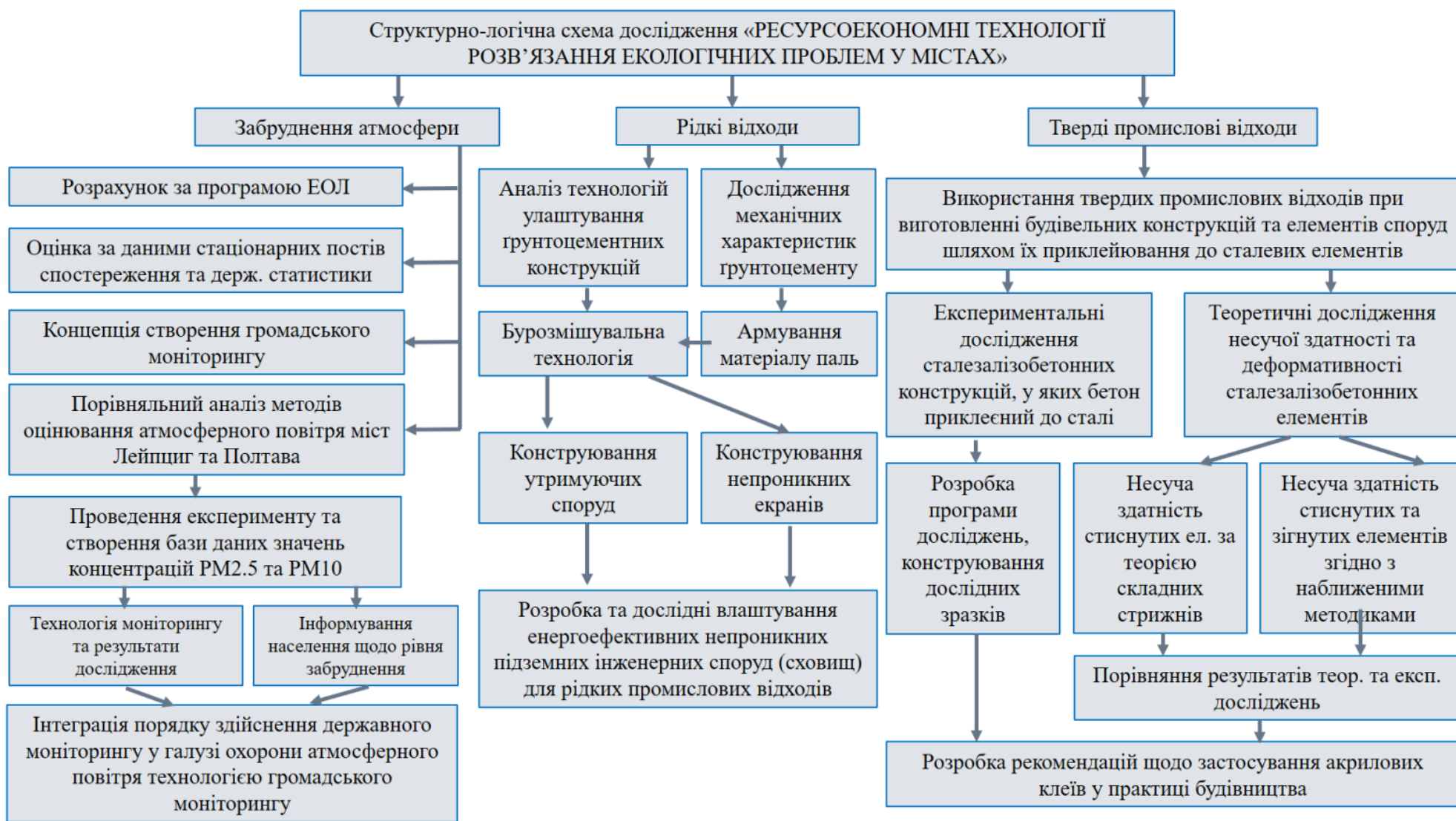


Рисунок 1 – Структурно-логічна схема досліджень

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема досліджень відповідає напрямам науково-технічної політики держави в галузі оцінювання технічного стану будівель і споруд, моніторингу стану повітряного середовища згідно з постановами Кабінету Міністрів України: від 5 травня 1997 р. № 409 «Про забезпечення надійності й безпечної експлуатації будівель, споруд та мереж»; від 20 серпня 2000 р. №1313 «Про затвердження програми запобігання і реагування на надзвичайні ситуації техногенного і природного характеру на 2000 – 2005 роки» зі змінами і доповненнями, внесеними постановами Кабінету Міністрів України від 15 травня 2003 року № 717 та від 21 червня 2004 року № 792; від 15 лютого 2002 № 175 «Про затвердження Методики оцінки збитків від наслідків надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру»; від 23 травня 2011 № 547 «Про затвердження Порядку застосування будівельних норм, розроблених на основі національних технологічних традицій, та будівельних норм, гармонізованих з нормативними документами Європейського Союзу»; від 14 серпня 2019 року №827 «Деякі питання здійснення державного моніторингу у галузі охорони атмосферного повітря»; від 13 квітня 2011 року № 466 «Деякі питання виконання підготовчих і будівельних робіт».

Дослідження виконувалися у Національному університеті «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», а їх основні результати було реалізовано в межах низки держбюджетних прикладних науково-дослідних робіт: «Збірно-монолітна конструктивна система будівлі під соціальне житло» (номер державної реєстрації 0113U000383); «Прогресивні залізобетонні конструкції з армуванням прокатними профілями» (номер державної реєстрації 0109U001521); «Комплексна оцінка стану забруднення атмосферного повітря м. Полтави сучасними методами дослідження» (номер державної реєстрації 0116U006931).

Також результати досліджень використані в Плані дій сталого енергетичного розвитку міста Полтави до 2020 року, затвердженому рішенням дев'ятої сесії Полтавської міської ради сьомого скликання від 31 січня 2017 року, в розділі «Екологічна ситуація в місті», та регіональній програмі охорони довкілля, раціонального використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки з урахуванням регіональних пріоритетів Полтавської області на 2017 – 2021 роки («Довкілля – 2021»), у розділі «Стан атмосферного повітря»

1. Мета і завдання роботи

Метою роботи є комплексне розв'язання екологічних проблем у містах шляхом застосування ресурсоекономних технологій для боротьби із твердими та рідкими промисловими відходами й удосконалення рівня існуючої системи моніторингу забруднення атмосферного повітря.

Для розроблення технологій захисту навколишнього середовища у містах у роботі було поставлено низку актуальних на сьогодні теоретично-експериментальних та практичних завдань, основними серед яких є такі:

- проаналізувати стан забрудненості атмосферного повітря за різними методами та на прикладі реальних урбосистем провести аналітично-порівняльне дослідження стану якості повітряного басейну міст;
- обґрунтувати концепцію створення громадського моніторингу атмосферного повітря міста та інформування населення щодо його результатів і розробити метод розмітки сітки міста для встановлення додаткового контролю за вмістом пилу, відповідно до постанови щодо деяких питань моніторингу атмосферного повітря;
- установити особливості залежності метеорологічного потенціалу міста та стану забруднення атмосфери з точки зору екологічної безпеки міста й актуалізувати впровадження реалізації завдань щодо захисту повітря, визначених в рамках проєкту «Інтегрований розвиток міст в Україні»;
- розробити конструктивне рішення підземних інженерних споруд для нейтралізації впливу рідких промислових відходів на навколишнє ґрунтове й водне середовище;
- обґрунтувати доцільність використання бурозмішувальної технології як ресурсоекономного й енергоефективного способу влаштування підземних непроникних екранів для нейтралізації рідких промислових відходів;
- дослідити фізико-механічні характеристики конструктивного матеріалу непроникних екранів, на основі чого обґрунтувати можливість ізоляції відходів від навколишнього середовища;
- провести аналіз методів боротьби з твердими та рідкими промисловими відходами у містах шляхом застосування сучасних ресурсоекономних технологій виготовлення елементів будівель і споруд;
- експериментально дослідити особливості роботи з'єднань сталі та бетону на основі акрилових клеїв у сталезалізобетонних елементах із різними геометричними характеристиками з використанням бетонів різних класів за міцністю й акрилових клеїв різного складу та визначити несучу здатність і характер руйнування з'єднань, улаштованих шляхом приклеювання свіжоукладеної бетонної суміші до сталі за допомогою акрилових клеїв, при роботі на осьовий розтяг та зріз;
- розробити методику розрахунку сталезалізобетонних конструкцій з клейовим з'єднанням сталі та бетону, яка давала б можливість урахувати фізико-механічні властивості матеріалу і геометрію шва;
- упровадити результати досліджень у практику проектування і виявити техніко-економічну ефективність конструкцій, де використане з'єднання сталі та бетону за допомогою акрилового клею у порівнянні з конструкціями із традиційними засобами анкерування;
- розробити рекомендації щодо застосування клейових з'єднань сталі та бетону в будівельних конструкціях для підвищення їх ресурсоефективності у боротьбі з твердими промисловими відходами.

2. Наукова новизна та практична значимість роботи

Наукова новизна роботи полягає у тому, що вперше впроваджено системний громадський моніторинг за станом атмосферного повітря міста як інструмент в імplementації удосконаленої структури взаємодії державного контролю та громадськості. Задля інформування населення щодо отриманих даних реалізовано веб-сайт для публікацій результатів вимірювання рівня забруднення атмосферного повітря за допомогою громадського контролю. У результаті розрахунки й аналітичні дослідження перетворюються у зрозумілі користувачеві тематичні карти забруднення атмосферного повітря міста PM_{2.5} та PM₁₀.

Уперше в умовах лабораторних випробувань і натурних спостережень встановлено вплив армування сталевую арматурою на міцність ґрунтоцементної палі за матеріалом, при цьому експериментально доведено, що міцність палі за матеріалом суттєво збільшується зі збільшенням відсотка армування. Удосконалено методику складання розрахункової схеми для моделювання напружено-деформованого стану армованої ґрунтоцементної палі методом скінченних елементів та обґрунтовано методику отримання діаграми стану ґрунтоцементу, за якою визначено характеристики міцності та деформативності матеріалу палі.

Запропоновано новий спосіб забезпечення сумісної роботи бетону і сталі у сталезалізобетонних конструкціях, який полягає в приклеюванні свіжоукладеної бетонної суміші до металевої частини, та визначено експериментально вплив наявності клейового з'єднання в дослідних конструкціях і складу використаного клею, різних класів бетону за міцністю на деформативність та несучу здатність розглянутих елементів. Отримано нові результати експериментально-теоретичних досліджень напружено-деформованого стану сталезалізобетонних елементів при використанні клейового з'єднання і розроблено методику розрахунку несучої здатності та прогинів сталезалізобетонних елементів із клейовим з'єднанням з урахуванням його властивостей і геометрії.

Одержані в роботі наукові результати мають **суттєве практичне значення**, що полягає у впровадженні аналізу стану забруднення атмосферного повітря агломерації пиловими частинками PM_{2.5} та PM₁₀ за допомогою громадського моніторингу, розробленні сайта просторового поширення забруднюючих речовин, що немає аналогів. Сайт завантажено на хостинг за адресою <http://city-air-dust.ho.ua/>.

Результати досліджень можуть бути використані при проєктуванні та виготовленні ґрунтоцементних армованих паль, водонепроникних завіс, підпірних стінок, елементів підсилення слабких основ, підземних резервуарів для зберігання рідких промислових відходів. Упровадження армованих ґрунтоцементних паль у фундаментобудування дозволить значно розширити сферу використання цього матеріалу і водночас знизити вартість робіт нульового циклу у згаданих сферах будівництва.

Розроблено нові конструкції сталезалізобетонних стиснутих елементів з листовим сталевим армуванням, які дають можливість ефективно використовувати нетоксичні чи малотоксичні тверді промислові відходи у будівництві. Представлено пропозиції щодо методів визначення несучої здатності досліджених елементів з урахуванням їх геометричних параметрів та фізико-механічних характеристик матеріалів.

На підставі отриманих експериментальних і теоретичних даних розроблено пропозиції щодо подальшого вдосконалення несучих конструкцій, у яких сумісна робота бетону та сталі здійснюється за допомогою склеювання, із підвищенням їх ефективності й надійності при використанні у якості методу боротьби із твердими промисловими відходами. Розроблено рекомендації щодо застосування акрилових клеїв при виготовленні сталезалізобетонних конструкцій

3. Основні науково-технічні результати роботи

На основі узагальнення результатів наукових досліджень у галузях ефективного моніторингу мультипоказникового стану атмосферного повітря, експлуатації ґрунтоцементних підземних інженерних споруд для зберігання рідких промислових відходів, раціоналізації застосування природних ресурсів за допомогою сучасних інженерних технологій у будівництві було розв'язано низку актуальних на сьогодні теоретично-експериментальних і практичних завдань, а проведені дослідження дали значні науково-технічні результати.

Розраховано розсіювання забруднюючих речовин у приземному шарі атмосфери від стаціонарних джерел викиду міста за допомогою програми ЕОЛ. Проведено аналіз стану забруднення атмосферного повітря за даними стаціонарних постів спостереження та державної статистики. Виявлено ряд недоліків діючої системи моніторингу атмосферного повітря міста. Запропоновано та введено в дію мережу громадського моніторингу. Надано рекомендації встановлення датчиків вимірювання і приклад оптимального розбиття сітки міста для ефективного вимірювання запиленості повітря міста та для подальшого аналізу даних через інформаційну систему.

Задля складання проектного макета візуалізації картографічних даних просторового розподілу концентрацій забруднюючих речовин реалізовано веб-сайт для публікацій результатів вимірювання рівня забруднення атмосферного повітря за допомогою громадського контролю. Здійснено моделювання процесу виникнення, поширення та впливу загроз на безпеку системи, в результаті чого розроблено відповідну структурну модель, за якою здійснюється ідентифікація домінуючих чинників та умов виникнення загроз, що дає можливість здійснювати нейтралізацію загроз на початковому етапі їх формування, а також мінімізацію їх негативного впливу на систему з урахуванням недоліків функціонування системи та дії зовнішніх чинників, що впливають на її надійність та безпечну роботу.

Обґрунтовано ефективні рішення підземних інженерних споруд для боротьби з рідкими відходами, що за конструкцією являють собою непроникні

резервуари, стінки яких виготовляються із одного чи кількох рядів ґрунтоцементних паль таким чином, щоб перерізи сусідніх паль частково накладалися у плані. Палі мають доходити вістрями до непроникних шарів глинистого ґрунту, які служать основою резервуара. Із ґрунту, вилученого із внутрішнього простору споруди, на поверхні влаштовується армована ґрунтоцементна плита після заповнення резервуара відходами

Для армування підземних ґрунтоцементних конструкцій сховищ рідких відходів можна застосовувати як окремі арматурні стержні чи зварні каркаси, так і сталевий прокатний профіль, армування арматурними каркасами є більш заощадливим з точки зору неперенасичення перерізу конструкції сталлю та не потребує додаткового анкерування арматури у ґрунтоцементі.

Механічні характеристики ґрунтоцементу, а саме: міцність та водонепроникність, створюють достатні передумови ефективного використання цього матеріалу для влаштування інженерних споруд для боротьби з рідкими відходами та надійного захисту навколишнього природного середовища. Бурозмішувальна технологія в свою чергу є ефективним технічним засобом влаштування таких конструкцій при порівняно невисокій вартості робіт (за рахунок використання місцевих матеріалів) й ефективній роботі конструкції.

Розроблено нову методику забезпечення сумісної роботи сталі та бетону за допомогою приклеювання акриловими полімерами різного складу свіжоукладеної бетонної суміші до металу в сталезалізобетонних конструкціях різного призначення. Згідно з експериментальними дослідженнями отримано дані про особливості роботи запроєктованих сталезалізобетонних елементів та виявлені форми руйнування досліджуваних зразків відповідно до визначених критеріїв, які відповідають прийнятим передумовам розрахунку.

На підставі експериментально і теоретично отриманих схем руйнування адаптовано й удосконалено методики оцінювання міцності нормальних перерізів сталезалізобетонних конструкцій з клейовим з'єднанням сталі та бетону. Удосконалені методики розрахунку розв'язують завдання оцінювання міцності та напружено-деформованого стану нормальних перерізів згинальних і стиснутих сталезалізобетонних елементів з клейовим з'єднанням бетону й сталі, враховуючи при цьому їх багат шаровість та неоднорідність властивостей складових перерізу. Проектування і техніко-економічне порівняння дали можливість довести доцільність та ефективність використання запропонованої методики забезпечення сумісної роботи сталі і бетону в будівництві на прикладі монолітного перекриття по профільованому настилу багаторівневої автомобільної стоянки.

4. Техніко-економічні показники

Регулярний громадський моніторинг якості атмосферного повітря приводить до скорочення затрат (до 30%) та підвищення ефективності проведення просвітницької роботи серед населення (до 50%) і його залучення до вирішення проблем захисту навколишнього середовища та сприяння

підвищенню екологічної свідомості у сфері управління якістю повітряного басейну агломерації.

Досвід упровадження підземних ґрунтоцементних конструкцій інженерних споруд демонструє широкі можливості їх ефективного використання в інженерно-геологічних умовах Полтавського лесового плато та рівнинної частини території України у цілому. Армований ґрунтоцементні палі були використанні при новому будівництві, реконструкції існуючих будівель, а також при влаштуванні утримуючих споруд зсувного схилу та підпірної стінки ґрунтової виїмки. Економічне порівняння вартості зведення підземних інженерних споруд на армованих ґрунтоцементних палях з двома можливими аналогами (буроін'єкційні та бетонні буронабивні палі) свідчить, що такий вид палей є найбільш економічним, оскільки має показник приведених витрат нижчий на 50% з-поміж 3-х розглядуваних варіантів. Суттєвим слід також уважати економію матеріалів – бетону й арматури (60% і 20% відповідно), а також енергоресурсів (30%). Розрахунки енергоємності зведення підземних ґрунтоцементних конструкцій доводять, що їх застосування є заощадливим для енергетичних ресурсів виконавця робіт, чим доводиться технологічність бурозмішувальної технології влаштування непроникних екранів для боротьби з рідкими промисловими відходами.

Розроблений спосіб з'єднання сталі та бетону має значний вплив на калькуляцію собівартості одиниці продукції шляхом зменшення об'ємів використаних матеріалів, а отже, і їх вартості, майже на 40%, зниження трудомісткості – на 18%, що призводить і до скорочення термінів будівництва на 20%. Розроблені рекомендації до застосування акрилових клеїв для влаштування з'єднань бетонної суміші і сталі свідчать про зниження вимог до кваліфікації робітників та спеціального обладнання у порівнянні з традиційними анкерними засобами.

Широке впровадження ресурсоекономічних технологій, досліджених у роботі, в практичну діяльність дозволить значно скоротити обсяги промислових відходів, що підлягають тривалому зберіганню, а саме: зважених часток у газоподібних викидах – до 20%; токсичних рідких промислових відходів – до 25%; нетоксичних та малотоксичних твердих промислових відходів – до 15%.

4. Упровадження результатів досліджень

Результати роботи було використано у практичній діяльності Департаменту екології та природних ресурсів Полтавської ОДА, а саме: результати комплексного аналізу стану забруднення атмосферного повітря м. Полтава використано в Регіональній програмі охорони довкілля, раціонального використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки з урахуванням регіональних пріоритетів Полтавської області на 2017–2021 роки («Довкілля – 2021»); ураховано при розробці науково-дослідницьких заходів щодо просторового розподілу концентрацій забруднюючих речовин в атмосферному повітрі Полтавської зони, а також проектування мережі спостережень за станом атмосферного повітря Полтавської зони.

Результати роботи було використано при обстеженні, проектуванні підсилення й реконструкції та будівництві низки об'єктів, а саме: ПП «ЕКФА» при будівництві спеціалізованого магазину по вул. Курській, 111 у м. Суми, підпірної стінки для лотка теплотраси Полтавського гірничозбагачувального комбінату, при підсиленні підпірних стін на ділянці схилу в урочищі Козина Спи́на на території Новопетрівської сільської ради Вишгородського району Київської області; при розробленні проектних пропозицій УВТЗ ДК «Укртрансгаз» будівництва ковальського цеху в с. Гоголево Велико-Багачанського району Полтавської області, БК «Зодчий» будівництва комплексу Релігійної громади у м. Березань Київської області, пров. Яблуневий, 1а.

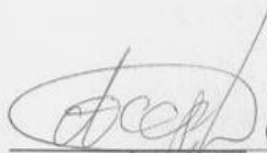
Крім цього, результати досліджень широко використовуються під час підготовки висококваліфікованих фахівців будівельних, механічних, нафтогазовидобувних, гірничих напрямів, зокрема при викладанні курсів «Моніторинг довкілля», «Технології захисту атмосферного повітря», «Системний аналіз якості навколишнього середовища», «Технології захисту довкілля», «Наукові дослідження в області інженерної геології, механіки ґрунтів, основ і фундаментів», «Основи і фундаменти», «Сталезалізобетонні конструкції», «Прогресивні конструкції», а також при виконанні магістерських робіт за інженерними спеціальностями.

Наукові розробки отримані під час виконання роботи використані при виданні підручника «Механіка ґрунтів. Основи і фундаменти» за редакцією д.т.н., проф. В.Б. Швеця.

5. Публікації та апробація результатів досліджень

Основні результати досліджень висвітлено у 91 публікації, у т.ч. 45 статтях (19 – у зарубіжних виданнях, 13 з яких входять до збірників, проіндексованих НМБД Scopus). Згідно з базою даних Scopus, загальна кількість посилань на публікації авторів складає 6, h-індекс (за роботою) – 2; згідно з базою даних Google Scholar загальна кількість посилань складає 42, h-індекс (за роботою) – 3. За цією тематикою захищено 2 кандидатські дисертації та одна подана до захисту. Новизну та конкурентоспроможність технічних рішень захищено 3 патентами на корисну модель, широко впроваджено в практику будівництва, а також запущено веб-сайт для інформування щодо стану повітряного середовища за посиланням <http://city-air-dust.ho.ua/>.

Автори:



Олександр ПЕТРАШ



Олександр ГОРБ



Наталія МАКСЮТА

«22» лютого 2021 р.