

ВІДГУК
офіційного опонента Петрука Р. В.
на дисертаційну роботу Броницького Вадима Олеговича
на тему «Прогнозування використання закритих полігонів твердих
побутових відходів в якості основ споруд», поданої на здобуття ступеня
кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека

Актуальність теми дисертаційного дослідження.

Дисертаційна робота Броницького В. О. присвячена розв'язанню актуального завдання прогнозування використання закритих полігонів твердих побутових відходів в якості основ споруд.

В Україні на даний час основним методом поводження з ТПВ є їх складування на величезній кількості сміттєзвалищ і полігонів. Майже у кожному населеному пункті є такий об'єкт. Більшість із цих сміттєзвалищ експлуатується багато десятиліть і потребує закриття, з подальшою рекультивацією територій і підготовкою їх до можливого подальшого використання в господарстві. Така процедура є звичною для країн Євросоюзу і буде інтенсивно реалізовуватися в нашій країні в найближчі роки. Проте для екологічно безпечного будівництва на рекультивованих полігонах варто враховувати низку факторів для прогнозування можливостей просідання поверхонь. Для цього необхідно створити відповідну математичну модель місць видалення відходів, яка б дозволяла враховувати можливі зміни в тілі сміттєзвалища чи полігону через тривалий час. Ефективне моделювання та прогнозування в цій галузі дозволить зробити екологічно безпечними та придатними для будівництва тисячі гектарів територій нашої держави і тим самим підвищити екологічну та економічну безпеку держави.

Вирішенню даної актуальної проблеми і присвячена дисертаційна робота Броницького В.О., що полягає в обґрунтуванні та прогнозування використання закритих полігонів твердих побутових відходів в якості основ споруд. Тому, безсумнівно, дисертаційне дослідження Броницького В.О. є на часі, його актуальність не викликає сумнівів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Основні положення дисертаційної роботи щодо постановки завдання екологічних досліджень, методів і засобів їх розв'язання відповідають положенням Законодавства України щодо охорони навколишнього природного середовища та Концепції національної екологічної політики України на період до 2030 року. Дослідження проводились у відповідності з Стратегією сталого розвитку "Україна-2020", затвердженої Указом Президента України від 12.01.2015 р.; у відповідності з пріоритетним напрямом розвитку науки і техніки в Україні на період до 2020 р. з розділу «Раціональне природокористування» і стратегічним пріоритетним напрямом інноваційної діяльності в Україні на 2011–2021 рр. «Широке застосування технологій більш чистого виробництва та охорони навколишнього природного середовища»; у рамках виконання наукових досліджень кафедри інженерної екології КПІ ім. Ігоря Сікорського за темами "Забезпечення збалансованого природокористування, зниження енергоємності

виробництва та підвищення рівня екологічної безпеки підприємств на базі аналізу та синтезу оптимальних геотехнологічних процесів" (номер державної реєстрації 0111U010300), в якій автор брав участь як виконавець.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій.

Наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані в дисертаційній роботі, базуються на значному обсязі теоретичних та експериментальних досліджень, є достатньо обґрунтованими і підтверджуються задовільним збігом та відтворюваністю результатів натурних експериментів і математичного моделювання, а також використанням сучасних інформаційно-вимірювальних і комп'ютерних технологій. При прогнозуванні використання закритих місць видалення твердих побутових відходів в якості основ споруд використані методики моделювання процесів осідання тіла полігону ТПВ з врахуванням підстилаючого ґрунту, метод скінченних елементів для моделювання процесу деформування полігону, методику розрахунку осідання полігону і підстилаючого та покриваючого ґрунтів з використанням сучасних моделей: Кулона-Мора для шарів ґрунту і SSC для відходів, метод скінченних елементів з трикутною сіткою для моделювання процесу осідання полігону.

Достовірність отриманих результатів також підтверджується збіжністю теоретичних досліджень з даними польових досліджень на прикладі полігону ТПВ, розташованому в м Бориспіль Київської області, обґрунтуваннями та розрахунками, коректністю запропонованих методик, а також позитивними відгуками у актах впровадження.

Наукова новизна виконаного дослідження.

У результаті проведення комплексу теоретичних і експериментальних досліджень у дисертації запропоновано та обґрунтовано нові наукові підходи, практична реалізація яких дозволить підвищити ефективність прогнозування використання закритих місць видалення твердих побутових відходів в якості основ споруд. При цьому:

- *вперше* розроблено просторову математичну модель процесу консолідації тіла полігону ТПВ, яка відрізняється від існуючих комплексним врахуванням геометричних розмірів та форми полігону, динамічних та статичних навантажень, що дозволяє оцінити вплив цих чинників на навколишнє середовище при осіданні полігону;

- *вперше* запропоновано враховувати при розрахунку стійкості полігону підстилаючий ґрунт як одного з основних чинників при формуванні осідання, що дозволить більш обґрунтовано оцінити вплив техногенно небезпечного об'єкта на навколишнє середовище та обґрунтувати теоретичні і практичні засади виведення їх з експлуатації;

- *вперше* встановлені закономірності зміни напружено-деформованого стану полігону в залежності від типу підстилаючих ґрунтів, розмірів та взаємного розташування шарів та від фізико-механічних властивостей тіла полігону і його геометричних розмірів, що дозволило проводити комплексну оцінку стійкості закритих полігонів;

- *вперше* отримано залежності осідання полігону ТПВ від величини статичного і динамічного навантаження, що дає можливість прогнозувати його стійкість і обирати тип споруди для його екологічно безпечного використання;

- *вперше* методом ієрархічного аналізу обґрунтовано екологічно безпечну технологію спалювання в барабанних печах, яка в 1,9-2,1 рази перевищує значення для технологій спалювання в металургійних та цементних печах та при обробці з використанням піролізу чи газифікації;

- *набула подальшого розвитку* методологія аналізу режимів відмов та наслідків при експертній оцінці ризиків для розрахунків та наукового обґрунтування допустимих рівнів впливу закритих полігонів ТПВ на навколишнє середовище, яка дала змогу встановити, що показниками з найбільш високим ступенем тяжкості ефектів для ($RPN > 125$) є: вплив атмосферного повітря $RPN = 700$; деформації поверхні $RPN = 400$; вплив на дихальні шляхи $RPN = 384$; небезпека вибуху та пожежі $RPN = 324$.

Практична значимість результатів роботи.

Практична цінність отриманих результатів полягає в тому, що основні наукові положення та висновки дисертаційної роботи можуть бути використані для розрахунку осідання тіла полігону чи сміттєзвалища при динамічних та статичних навантаженнях з врахуванням його взаємодії з ґрунтовою основою, шаруватості підстилаючого ґрунту, геометричних розмірів та форми полігону, що дає можливість дає можливість повторного використання рекультивованих територій сміттєзвалищ та полігонів в якості основ для будівництва споруд різного призначення.

При цьому на основі теоретичних і експериментальних досліджень розроблена методологія оцінки стійкості природно техногенного середовища під дією навантажень різного типу впроваджено на ТОВ «П'ятий гідротехнічний підводний загін» (м. Київ) і також може бути використана при розрахунку просідання різного роду поверхонь та природних середовищ і мінімізації екологічних ризиків пов'язаних з цим.

Матеріали дисертації також впроваджено в навчальному процесі КПІ ім. Ігоря Сікорського в курсах лекцій «Основи екології та наноекологія», «Екологізація виробництва та «зелені технології», «Стратегія охорони навколишнього середовища». Впровадження результатів дослідження підтверджено відповідними актами.

Враховуючи викладене, можна констатувати, що наукові положення, висновки і рекомендації, представлені у дисертації, мають достатню ступінь обґрунтованості та мають вагому наукову цінність і прикладну значимість.

Повнота викладу наукових положень, висновків і рекомендацій у наукових публікаціях, зарахованих за темою дисертації.

Дисертаційна робота Броницького В.О. є результатом наукових досліджень автора в області прогнозування використання закритих місць видалення твердих побутових відходів в якості основ споруд. Проведений аналіз публікацій дозволяє стверджувати про те, що вони достатньою мірою відображають результати дисертаційного дослідження. Основні результати опубліковані у 14 наукових працях, у тому числі 7 статей у наукових фахових виданнях (з них 1 стаття у

закордонних виданнях, що входять до Scopus), 7 тез доповідей в збірниках матеріалів конференцій.

Відповідність автореферату змісту дисертаційної роботи.

Зміст автореферату повністю відповідає основним положенням та матеріалам дисертаційної роботи.

Структура та обсяг дисертаційної роботи.

Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних літературних джерел до кожного розділу, який налічує 159 найменувань, 3-х додатків. Обсяг роботи без додатків складає 194 сторінок.

Загальна характеристика роботи.

У вступі детально обґрунтовано актуальність теми дослідження, сформульовано мету і завдання дослідження, визначено об'єкт, предмет і методи досліджень, відображено наукову новизну одержаних результатів, їх практичне значення, викладено коротку загальну характеристику роботи.

У першому розділі «Аналіз стану досліджень прогнозування напружено-деформованого стану полігонів твердих побутових відходів» зроблено огляд та критичний аналіз патентної та науково-технічної вітчизняної і зарубіжної літератури, надано загальну характеристику стану України щодо ТПВ. Проведений аналіз робіт, які присвячені методам моделювання осадки відходів на полігоні ТПВ та вивченню факторів, що на неї впливають встановлено, що існує велика кількість досліджень щодо стабільності звалищ з урахуванням осадки відходів і практично відсутні щодо впливу підстилаючого ґрунту та його властивостей на осадку. Розглянуто математичні моделі, що прогнозують осадку на полігоні, а саме моделі, що базуються на механіці ґрунтів, реологічні моделі, емпіричні моделі та моделі, що враховують біодеградацію. Обґрунтовано завдання роботи та вибрано напрямки їх вирішення для зменшення негативного впливу на довкілля шляхом використання закритих полігонів ТПВ в якості основи споруд різного призначення. На основі виконаного аналізу сформульовано мету, об'єкт, предмет та завдання дисертаційного дослідження.

У другому розділі «Аналіз вибору технології утилізації відходів та ризиків екологічної небезпеки їх впливу на полігонах ТПВ» проведено багатокритеріальний аналіз вибору технології утилізації відходів з використанням парних порівнянь і оцінки ризиків при освоєнні природно техногенних середовищ. За результатами дослідження, ефективність п'яти альтернативних методів обробки відходів була оцінена на основі 8 критеріїв. Була використана методологія аналізу режимів відмов та наслідків для експертної оцінки ризиків повторного використання територій, зайнятих природним та техногенним середовищем, для будівництва цивільних та промислових об'єктів. Визначено основні показники джерел ризиків: На основі рейтингу показників експертів побудовані матриці для оцінки впливу джерел ризику.

В результаті розрахунків встановлено, що показниками з високим ступенем тяжкості ефектів є: вплив атмосферного повітря (парниковий ефект, руйнування озонового шару), деформації поверхні, вплив на дихальні шляхи, небезпека вибуху та пожежі.

У третьому розділі «Вибір та обґрунтування математичної моделі напружено-деформованого стану зв'язаної системи «полігон ТПВ-грунтова основа» проведено чисельне моделювання напружено-деформованого стану полігону твердих побутових відходів та ґрунтової основи для прогнозування можливості його використання в якості основи споруди чи конструкції. Проведено обґрунтування математичної моделі для розрахунку напружено-деформованого стану зв'язаної системи «полігон ТПВ – ґрунтова основа». Зроблено математичну постановку задачі про напружено-деформований стан зв'язаної системи «полігон ТПВ – ґрунтова основа». Наведено основні характеристики моделі SSC для моделювання полігону ТПВ із застосуванням диференційного закону для одновимірної повзучості. Обґрунтовано можливість застосування узагальненого закону Кулона-Мора для моделювання напружено-деформованого стану ґрунтів в основі полігону ТПВ.

У четвертому розділі «Дослідження напружено-деформованого стану полігону твердих побутових відходів з врахуванням найбільш суттєвих факторів впливу» викладені результати чисельного дослідження осадки полігону з найбільш впливовими чинниками. Було досліджено вплив підстиляючого ґрунту (глина, пісок або суглинок) основи на осадку. Розроблена ефективна методика розрахунку осадки полігону, заснована на чисельному моделюванні напружено-деформованого стану полігону і підстиляючого ґрунту з використанням моделі Кулона-Мора для опису покриваючого і підстиляючого шарів ґрунту і моделі SSC для відходів. Встановлено, що при однакових умовах полігону підстиляючий ґрунтовий шар здійснює значний вплив на величину осадки: чим більш щільний і менш пористий ґрунт, тим менша осадка. Встановлено, що при однакових характеристиках відходів і постійній товщині суглинистого шару збільшення товщини підстиляючого глинистого шару призводить до зменшення осадки тіла полігону. Встановлено, що зі зменшенням куту нахилу схилу полігону відбувається значне зменшення осадки, причому найбільший спад спостерігається у найменш щільного ґрунту (піску). Встановлено, що полігон в формі прямокутної трапеції менш стійкий, ніж в формі рівносторонньої трапеції. При дослідженні залежності впливу шаруватого ґрунту на його осідання встановлено, що в залежності від товщини першого шару, якщо перший підстиляючий шар глинистий, то досягається осадка на 19,8-22,5% менше ніж при суглинку. Отримані аналітичні залежності осідання полігону ТПВ з різними підстиляючими ґрунтами від величини статичних і динамічних навантажень у вигляді поліномів 2 ступеня, які дають можливість здійснювати прогнозування осідання полігонів з метою їх подальшого використання в якості основи споруд різного призначення.

У п'ятому розділі «Методика прогнозування та оцінки можливості використання полігону ТПВ в якості основи споруд і конструкцій» наведена розроблена методика розрахунку осадки закритого полігону твердих побутових відходів із застосуванням методу скінчених елементів, що базується на математичному моделюванні закономірностей із врахуванням геометричних та фізико-механічних параметрів полігону та ґрунтової основи. Реалізований пакет прикладних програм на мові програмування С# для оперативного розрахунку осадки закритого полігону, який пропонує для цього вирішення трьох

взаємозв'язаних і послідовних задач. Розроблено алгоритм поводження з закритим полігоном ТПВ для переведення його з категорії «екологічно небезпечний об'єкт» в категорію «екологічно безпечний об'єкт». Для практичного застосування розробленої методики проведено розрахунок осадки на прикладі полігону ТПВ, розташованому в м Бориспіль, Київської області.

Загальні висновки, що містять основні результати дисертаційного дослідження, викладені достатньо повно та відображають хід виконання встановлених завдань дисертаційного дослідження.

Зауваження до дисертаційної роботи:

1. У вступі (стор. 16) та скрізь в роботі фігурує термін «полігон», хоча більшість із цих «полігонів» є насправді сміттєзвалищами. У актуальності вступу вказано, що під полігони відведено 160 тис.га. Хоча повноцінних полігонів у нас майже немає. У Вінницькій області таких не більше десяти, а решта (понад 700) звичайні сміттєзвалища. Це важливо оскільки полігон має спеціально облаштоване дно, яке відрізняється від сміттєзвалища та має інші властивості до просідання та деформації. Використання терміну «полігон» сильно звужує сферу застосування результатів роботи. Рекомендую використовувати термін МВВ- місця видалення відходів.
2. У розділі 2.1 обґрунтовано вибір оптимального методу спалювання відходів та обрано метод спалювання в барабанних/обертових печах як оптимальний, причому найближчий аналог – спалювання в металургійних або цементних печах має майже вдвічі нижчу ефективність, проте дані розрахунки погано узгоджуються з загальноприйнятою практикою спалювання відходів у розвинених країнах. Наприклад, у Швейцарії та Австрії де спалюється 99 % побутових відходів основними методами сміттєспалювання є використання колосникових решіток та обертових печей цементних заводів.
3. В розрахунках найбільш ефективного методу утилізації відходів (розділ. 2.1) варто додати дані по методу очистки димових газів, оскільки вартість очисного обладнання може в декілька разів перевищувати вартість обладнання по спалюванню.
4. В розділі 2.2 використано методологія аналізу FMEA, яка базується на експертній оцінці. В таблицях 2.5-2.8 наведено ранжування впливів та наслідків одним експертом. Наскільки достовірні дані можна отримати при такому ранжуванні з використанням одного експерта і чи не краще було б використати якусь експертну групу? Які критерії вибору експерта?
5. У розділі 3 наводиться низка формул, які враховують параметри полігону і зміну його параметрів з часом. В четвертому розділі наведено візуалізацію таких моделей, зокрема, рис. 4.22 наводить моделювання зміни стану полігону на 12 тис. діб, тобто на 36 років. На скільки є достовірним такий прогноз і моделювання на такий довгий проміжок часу?
6. В дослідженнях 4 розділу для моделювання використовуються полігони з шириною у 60-80 метрів і глибиною до 40 м. На скільки будуть адекватні використані математичні моделі при аналогічних моделюваннях невеличких стихійних сміттєзвалищ з шириною 3-5 метрів і глибиною в 1-2 метри?

7. Незрозумілим є те, чи враховують використані математичні моделі той фактор, що полігон заповнюється і просідає одночасно протягом багатьох років? Тобто щільність і склад нижніх шарів відрізняється від верхніх.

Зазначені недоліки та зауваження принципово не впливають на ступінь наукової новизни, практичної значимості отриманих у дисертації результатів, а також загальну позитивну оцінку роботи, і носять рекомендаційний характер. Висновки та положення наукової новизни добре обґрунтовано, логічно пов'язано з отриманими експериментальними даними та відповідають меті і завданням, які поставлені в роботі.

Висновок про відповідність дисертації вимогам МОН України.

Дисертаційна робота Броницького В.О. на тему «Прогнозування використання закритих полігонів твердих побутових відходів в якості основ споруд» є завершеною науковою працею, яка містить нові наукові положення. У роботі одержані нові науково обґрунтовані результати, які забезпечують ефективне розв'язання важливої проблеми – підвищення рівня екологічної безпеки теоретичним обґрунтуванням застосування закритих місць видалення побутових відходів в якості основ споруд. Результати роботи можуть бути використані та уже частково застосовуються в технологіях захисту довкілля, в екології та екологічній безпеці, при державному стратегічному плануванні та у роботі державних органів природоохоронної сфери.

Дисертаційна робота відповідає вимогам до п.9, 11, 12 та 13 Положення «Про порядок присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року, № 576 із змінами.

На підставі вищезазначеного вважаю, що Броницький Вадим Олегович заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – Екологічна безпека.

Офіційний опонент, доцент, професор
кафедри екології та екологічної безпеки
Вінницького національного технічного
університету, доктор технічних наук (21.06.01)



Петрук Р. В.

Підпис *Петрука Р.В.*
ПОСВІДЧУЮ
Зав. канцелярією *[signature]*