

Розробка лабораторно-експериментальної установки для перевірки достовірності математичної моделі та розробленої на її основі методики попередження надзвичайних ситуацій на полігонах твердих побутових відходів з технологічним ліквідаційним енергоємним устаткуванням

Михайло Дівізінюк ^{* A}; Володимир Мірненко ^B; Ніна Рашкевич ^C;
Ольга Шевченко ^C

^A Інститут геохімії та навколишнього середовища НАН України, пр-кт Академіка Палладина, 34а, м. Київ, 03142, Україна

^B Національний університет оборони України імені Івана Черняховського, проспект Повітрофлотський, 28, м. Київ, 03049, Україна

^C Національний університет цивільного захисту України, вул. Чернишевська, 94, Харків, 61023, Україна

Received: September 01, 2020 | Revised: October 5, 2020 | Accepted: October 31, 2020

DOI: 10.33445/sds.2020.10.5.2

Анотація

В роботі представлена розроблена лабораторна установка, яка дозволяє проводити експериментальні дослідження впливу показників фізичного стану звалищних ґрунтів на стійкість схилів на зсув та перевірити достовірність математичної моделі та розробленої на її основі методики попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу поширення внаслідок зсуву звалищних ґрунтів на полігоні твердих побутових відходів з технологічним ліквідаційним енергоємним устаткуванням. Основними елементами розробленої установки є прямокутний експериментальний бокс з поворотною та зафіксованою частинами, поворотний та стопорний механізми, настільні плити, обприскувач, система дотичного навантаження. У якості основних вимог до установки визначені можливість проведення серій експериментів, що базуються на використанні зсувних експериментальних блоків зі зміною їх вологості, щільності, температури та кута нахилу основи поверхні ковзання, а також механічних характеристик – кута внутрішнього тертя, питомого зчеплення звалищних ґрунтів. Проведення досліджень з використанням лабораторної установки базується на припущенні – перехід зсувного експериментального блоку звалищних ґрунтів в динамічний стан вважається настанням надзвичайної ситуації об'єктового рівня поширення.

У ході роботи розроблена методика проведення експериментальних досліджень та обробки результатів спостереження. Методика включає процедури: встановлення початкових та граничних умов; підготовка лабораторної установки; проведення серії експериментів по визначенню механічних показників та кута зсуву експериментальних блоків, та серії експериментів по визначенню показників вологості, температури та щільності звалищних ґрунтів за фактом зсуву з урахуванням поступового наростання вологості; статистичну обробку щодо отримання статистичної вибірки значень ефективних показників фізичного стану звалищних ґрунтів, що входять в довірчий інтервал за класичним методом статистики – *t*-критерій Стьюдента.

Ключові слова: полігон твердих побутових відходів, ліквідаційне енергоємне технологічне устаткування, зсув, звалищні ґрунти, попередження надзвичайних ситуацій.

* Corresponding author: д.ф.-м.н., професор, завідувачий відділом, e-mail: divizinyuk@ukr.net, ORCID: 0000-0002-5657-2302

Постановка проблеми

В рамках вирішення ряду природоохоронних проблем у світі спостерігаються тенденції до реконструкції діючих полігонів твердих побутових відходів (ТПВ), що включають впровадження технологій збору та утилізації біогазу.

Збір та утилізація біогазу передбачає розміщення на території полігону ТПВ технологічного ліквідаційного енергоємного устаткування (ТЛЕУ), що додатково становить техногенну небезпеку виникнення та поширення надзвичайних ситуацій (НС) [1]. Основними наслідками небезпеки є велика кількість загиблих, постраждалих, осіб з порушенням умов життєдіяльності, затрати на ліквідацію та територія поширення небезпеки. Скорочення значень показників цих наслідків, що є пріоритетним напрямком в діяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій (ДСНС України), можливо завдяки розробці та впровадженню у практичну діяльність адекватної методики на основі достовірної математичної моделі,

яка комплексно визначає процес попередження НС внаслідок зсуву звалищних ґрунтів з наступним вибухом біогазу на зазначених потенційно-небезпечних об'єктах.

Таким чином, актуальності набуває завдання розробки лабораторної установки та відповідної методики проведення досліджень стійкості схилів звалищних ґрунтів та обробки результатів спостереження з метою перевірки достовірності математичної моделі та розробленої на її основі методики попередження НС каскадного типу поширення внаслідок зсуву звалищних ґрунтів на полігоні ТПВ у разі введення до його технологічного процесу додаткового ТЛЕУ в інтересах недопущення переростання НС з об'єктового на більш високі рівні поширення небезпеки, реалізація якої дозволить захистити від ураження цивільних осіб та фахівців підрозділів ДСНС України.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Стійкість схилів на зсув – це функція багатьох факторів, кожен з яких відокремлено або у комбінації може призвести до того, що механізм руйнування схилу досягне критичних умов [2].

В провідних країнах світу мінімізація наслідків небезпеки пов'язаних зі зсувом здійснюється за допомогою пасивних та активних методів інженерного захисту [3]. Пасивні методи включають в себе: збір статистичних даних про прояви та наслідки небезпеки, складання карт ризиків; регулювання можливих ризиків, обмеження введення в обіг зон з високими ризиками; розробку й коригування будівельних норм і правил на основі аналізу і вивчення прояви небезпечних геологічних процесів [4]. Активні методи представлені заходами по стабілізації й утримання зсувного масиву звалищних ґрунтів [5].

Найбільш відомим методом стабілізації схилів є зміна його поперехні (зменшення

висоти, корекція профілю) й посилення конструкцій, відведення надлишку вологи. Питання запобігання перезволоження за допомогою дренажних споруд розглянуті в роботі [6], ізоляції відходів від атмосфери [7], перерозподілу ґрунтових мас за допомогою перегородок [8], утримання зсувних мас підпирними стінками на етапі технічної реабілітації [9], підсиленням за допомогою палів [10], будівництво берм [11]. Одним із методів стабілізації схилів є армування ґрунтом [12], використання геоволокна [13]. Однак, здебільш кількість моделей управління полігонів ТПВ з використанням методів інженерного захисту зосереджені на цілях забезпечення екологічної безпеки у відповідності з екологічними нормами.

З урахуванням сучасних вітчизняних наукових підходів у сфері цивільного захисту [14–16] та відповідної нормативної бази України [17–19], НС представляє собою умовний рівень перебігу надзвичайної події,

який досягається за одним або кількома домінуючими ознаками, з погляду рівня загрози, та/або можливостей протидії підрозділів ДСНС України. В роботах [20, 21] зазначено, що умовою ефективності попередження НС на полігоні ТПВ з ТЛЕУ є строге виконання системи рівнянь (1), яке має рішення в граничних умовах (2):

$$\begin{cases} q_1(w, \rho, T, L) = 0; \\ q_2(w, \rho, T, L) < q^{об}; \\ q_3(w, \rho, T, L) \leq q^{об}; \\ \Psi(q_1, q_2) = f_{q_1, q_2}(\phi_1, \phi_2, \phi_3, \phi_4). \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} w_{поч}^{ТПВ} \leq w(Q_{вх}^P, Q_{вих}^P) \leq w_{max}^B; \\ \rho_{поч}^{ТПВ} \leq \rho(P, n, h) \leq \rho_{max}; \\ T_{поч}^{ТПВ} \leq T(Q_{вх(ген)}^T, Q_{від}^T) \leq T_{max}^B; \\ L \leq L_{кр}. \end{cases} \quad (2)$$

Перше рівняння описує залежність кількості загиблих осіб q_1 від фізичного стану звалищних ґрунтів, як-то вологість w , щільність ρ , температура T , та технологічних показників додаткового ліквідаційного енергоємного устаткування L .

Друге рівняння описує залежність кількості постраждалих q_2 від фізичного стану звалищних ґрунтів, як-то вологість w , щільність ρ , температура T , та технологічних показників додаткового ліквідаційного енергоємного устаткування L .

Третє рівняння описує рівень кількості осіб з порушенням умов життєдіяльності q_3 на об'єктовому рівні поширення надзвичайної ситуації від фізичного стану звалищних ґрунтів, як-то вологість w , щільність ρ , температура T , та технологічних показників додаткового ліквідаційного енергоємного устаткування L .

Четверте рівняння дозволяє визначити умови відсутності постраждалих q_2 та жертв q_1 , як наслідків НС першого рівня пріоритетності, в залежності від варіантів рішення задач:

– оцінки рівня вологості звалищних ґрунтів ϕ_1 , що являє собою аналітичну залежність, яка описує зв'язок вологості звалищних ґрунтів у відповідності до варіації вхідних $Q_{вх}^P$ та вихідних потоків рідини $Q_{вих}^P$, в якій $w_{поч}^{ТПВ}$ – початкова

вологість звалищних ґрунтів, що відповідає середньому значенню вологості на полігоні ТПВ, w_{max}^B – вологість, що відповідає верхній межі утворення максимальної кількості метану у складі біогазу;

– оцінки рівня щільності звалищних ґрунтів ϕ_2 , що являє собою аналітичну залежність, яка описує зв'язок щільності звалищних ґрунтів у відповідності до варіації фізичних параметрів – сили ущільнення P , пористості n , висоти масиву звалищних ґрунтів h , в якій $\rho_{поч}^{ТПВ}$ – початкова щільність звалищних ґрунтів, що відповідає мінімальному значенню ущільнення на полігоні ТПВ, ρ_{max} – максимальна щільність з часом деформації відходів;

– оцінки рівня температури звалищних ґрунтів ϕ_3 , що являє собою аналітичну залежність, яка описує зв'язок температури масиву звалищних ґрунтів до варіації кількості тепла, що підводиться або генерується $Q_{вх(ген)}^T$ і тепла, що відводиться $Q_{від}^T$, в якій $T_{поч}^{ТПВ}$ – початкова температура звалищних ґрунтів, що відповідає максимальній температурі навколишнього середовища, T_{max}^B – температура, що відповідає верхній межі для утворення максимальної кількості метану у складі біогазу;

– оцінки рівня критичної відстані від схилу масиву звалищних ґрунтів до додаткового енергоємного технологічного устаткування ϕ_4 , що передбачає зміну об'єму зсувного масиву звалищних ґрунтів $V_{зс}$, його швидкості $v_{зс}$, траєкторії переміщення $L_{зс}$, в якій $L_{(кр)}$ – фактична (критична) відстань від схилу масиву звалищних ґрунтів до додаткового енергоємного технологічного устаткування.

Таким чином, на сьогоднішній день, за фактом розробки математичної моделі та розробленої на її основі методики попередження НС каскадного типу поширення внаслідок зсуву звалищних ґрунтів на полігоні ТПВ з ЛЕТУ існує потреба у перевірці її достовірності.

Постановка завдання

Метою дослідження є розробка лабораторно-експериментальної установки

для перевірки достовірності математичної моделі та розробленої на її основі методики

попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу поширення внаслідок зсуву звалищних ґрунтів на полігоні твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням.

Для вирішення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Розробити лабораторну установку, яка

дозволяє провести експериментальні дослідження впливу показників фізичного стану звалищних ґрунтів на стійкість схилів на зсув.

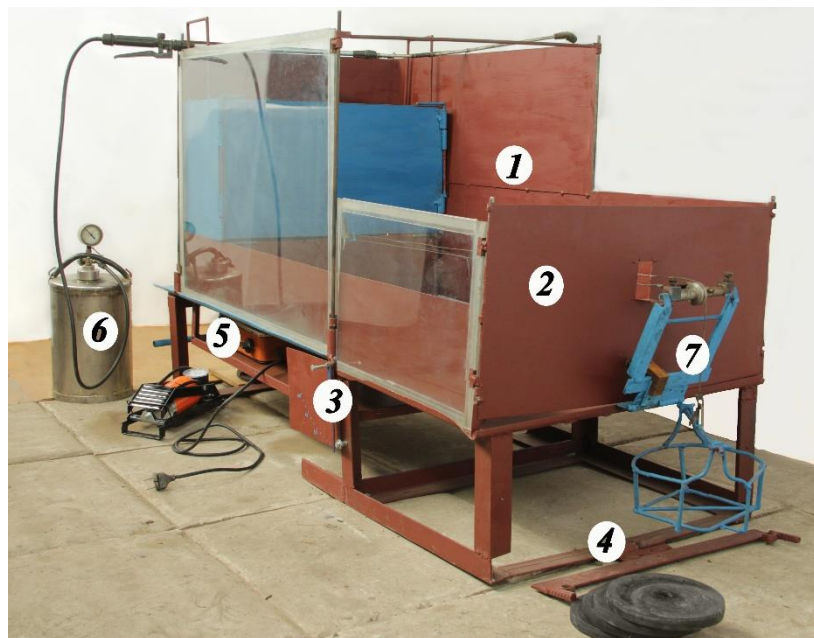
2. Розробити методику проведення досліджень стійкості схилів звалищних ґрунтів та обробки результатів спостереження.

Виклад основного матеріалу

Виходячи з гіпотези, що за допомогою зміни показників фізичного стану звалищних ґрунтів можна попередити НС каскадного типу поширення внаслідок зсуву звалищних ґрунтів з наступним вибухом біогазу на ЛЕТУ полігону ТПВ, у якості основних вимог до лабораторної установки визначені можливість проведення серії експериментів, що базуються на використанні зсувних експериментальних блоків різної вологості, щільності, температури та кута нахилу основи поверхні ковзання, а також визначення кута внутрішнього тертя, питомого зчеплення. Враховуючи значну варіативність задачі, під

час експериментальних досліджень відтворюються тільки загальні, принципово суттєві діючі фактори впливу та їх значення, які цілком забезпечують адекватне відтворення існуючих умов функціонування об'єкту дослідження.

До складу розробленої лабораторної установки (мал. 1) входять прямокутний експериментальний бокс з поворотною (1) та зафіксованою (2) частинами, поворотний (3) та стопорний механізми (4), настільні плити (5), обприскувач (6), система дотичного навантаження (7). Опишемо основні елементи лабораторної установки.



Малюнок 1 – Лабораторна установка дослідження впливу показників фізичного стану звалищних ґрунтів на стійкість схилів на зсув

Експериментальний бокс (1, 2). Основа боксу виконана з листового заліза товщиною 3 мм, габаритними розмірами поворотної

800x600x600 мм та зафіксованої 500x600x300 мм частин. На дні поворотної для жорсткої фіксації основи поверхні ковзання

передбачені ребра. Бокові стінки з трьох сторін виконанні з листового заліза товщиною 2 мм, а четверта – оглядове вікно, зі скла товщиною 4 мм яке окантоване силіконовими рейками.

Поворотний (3) та стопорний механізми (4). Поворотний механізм складається з петель, які кріплять між собою частини експериментального боксу, покажчика кута нахилу. Кут нахилу регулюється за допомогою домкрату гідравлічного пляшкового 5 т 80-030 MioI 216-413 мм, який встановлюється на дерев'яний щит розмірами 40x120x400 мм. Стопорний механізм, у вигляді тумби з якорем, виконаних з залізного кутка 50x50 мм та пластини розмірами 50x500 мм товщиною 5 мм.

Настільні плити (5). Для прогріву експериментального матеріалу передбачені настільні плити електричні з механічним поворотним ступеневим регулюванням потужності, конфоркою 19 мм, 1,5 кВт, розміром 96x260x269 мм – 2 шт., які встановлюються на металевий піддон під поворотну частину експериментального боксу. Піддон виконаний з листа заліза, має виїмку під шток домкрату.

Обприскувач (6). На установці за допомогою обприскувача пневматичного з манометром та градуїтованим баком на 8 л експериментально досліджується вплив вологи на стан стійкості схилів звалищних ґрунтів. В дію обприскувач приводиться за допомогою створення надлишкового тиску ножним насосом. Надлишок рідини з боксу стікає до мірної ємності.

Система дотичного навантаження (7). Зазначена система складається з 2-х блоків (роликів) з'єднаних між собою сталевим тросом діаметром 4 мм, корзини для вантажу, індикатора часового типу ГОСТ 577-68, що торкається зсувного блоку, шкала ділення 0,01 мм, хід стрілки 10 мм.

До допоміжного устаткування належить: мінеральна вата, металеві прищепки для обмеження втрати тепла при прогріві експериментального матеріалу; настільна плита Термія JB-3215 електрична, мірний металевий бак на 10 л для підігріву рідини,

термометр універсальний побутовий ТП-3-М1-2 з «ромашкою-поплавком» для вимірювання температури рідини; кельма, лопата совкова, ваги електронні Wimpex до 50 кг, III клас точності, металева формочка під зсувний блок розмірами 590x300x250 мм, ручна металева ступка, залізний градуїтований щуп на 500 мм для роботи з експериментальним матеріалом.

Проведення досліджень з використанням лабораторної установки (рис. 1) базується на припущенні – перехід зсувного експериментального блоку звалищних ґрунтів в динамічний стан будемо вважати настанням НС об'єктового рівня поширення.

Відповідно, методика проведення експериментальних досліджень та обробки результатів спостереження полягає у виконанні наступних процедур:

1) Встановлення початкових та граничних умов експериментального дослідження.

1.1) Вибір експериментальної області факторного простору (основного (нульового) рівня фактору, інтервалу варіювання) та кодування натуральних значень рівнів факторів до безрозмірних величин. Для факторів з безперервною областю визначення кодування здійснюють за формулою:

$$x_i = \frac{\tilde{x}_i - \tilde{x}_{i0}}{I_i}, \quad (3)$$

де x_i – кодове значення i -го фактору; \tilde{x}_i – натуральне значення i -го фактору; \tilde{x}_{i0} – натуральне значення i -го фактору основного (нульового) рівня; I_i – інтервал варіювання натурального значення i -го фактору.

Після кодування рівні факторів приймають значення: «-1» – нижній рівень; «+1» – верхній рівень; «0» – нульовий рівень. В якості нульового рівня обирається центр інтервалу, в якому передбачається вести експеримент.

1.2) Вибір вимірювальних приладів або методів лабораторного визначення фізико-механічних показників звалищних ґрунтів на відповідність експериментальної області факторного простору. Температура вимірюється за допомогою термометру для ґрунту або термощтанги, вологість –

вологоміру для ґрунту або методом висушування до постійної маси, щільність – щільноміру ґрунту або методом ріжучого кільця, характеристики міцності (кут внутрішнього тертя, питоме зчеплення) – методом одноплосинного зрізу.

Вологість w у відсотках обчислюють за формулою [22]:

$$w = \frac{100 \cdot (m_1 - m_0)}{m_0 - m}, \quad (4)$$

де m – маса порожнього стаканчика із кришкою, г; m_1 – маса вологого ґрунту зі стаканчиком із кришкою, г; m_0 – маса висушеного ґрунту зі стаканчиком із кришкою, г.

Щільність ρ г/см³ обчислюють за формулою [22]:

$$\rho = \frac{(m_1 - m_0 - m_2)}{V}, \quad (5)$$

де m_1 – маса ґрунту з кільцем і пластинками, г; m_0 – маса кільця, г; m_2 – маса пластинок, г; $V = \pi \cdot r^2 \cdot h$ – внутрішній об'єм кільця, см³ (r – радіус, см; h – висота, см).

Кут внутрішнього тертя ϕ та питоме

зчеплення C обчислюються за формулами [23]:

$$tg\phi = \frac{n \cdot \sum \tau_i \cdot \sigma_i - \sum \tau_i \cdot \sum \sigma_i}{n \cdot \sum (\sigma_i)^2 - (\sum \sigma_i)^2}, \quad (6)$$

$$C = \frac{\sum \tau_i \cdot \sum \sigma_i^2 - \sum \sigma_i \cdot \sum \tau_i \cdot \sigma_i}{n \cdot \sum (\sigma_i)^2 - (\sum \sigma_i)^2}, \quad (7)$$

де τ_i – дослідні значення структурного опору зрізу при різних значеннях σ_i ; n – число випробувань ($n \geq 3$).

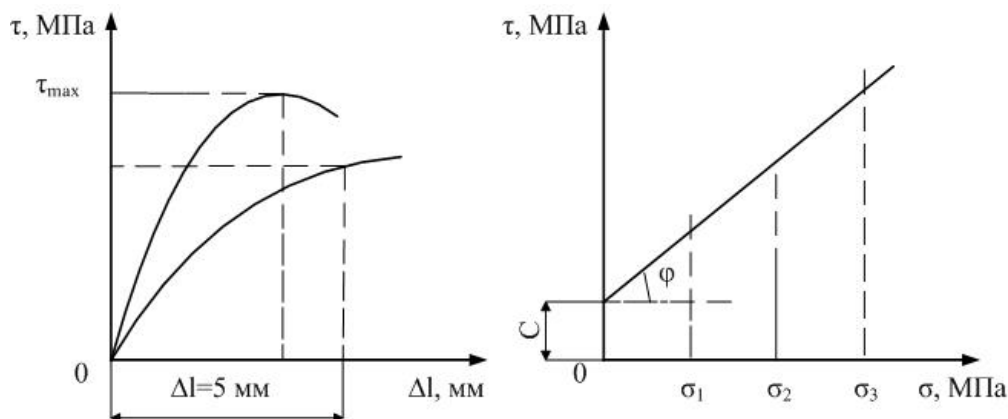
За виміряними в процесі випробування значеннями дотичного і нормального навантажень обчислюють дотичні та нормальні напруги τ та σ , МПа, за формулами:

$$\tau = \frac{X}{A}, \quad (8)$$

$$\sigma = \frac{N}{A}, \quad (9)$$

де X та N – відповідно дотична та нормальна сили до площини зрізу, кН; A – площа зрізу, см².

За виміряними в процесі випробувань значеннями деформацій зрізу Δl , які відповідають різним напругам τ , будують графік залежності $\Delta l = f(\tau)$ (рис. 2).



Малюнок 2 – Графік залежності деформацій зрізу Δl від напруги τ : $\Delta l = f(\tau)$

За опір ґрунту зрізу приймають максимальне значення τ , одержане за графіком $\Delta l = f(\tau)$ або діаграмою зрізу на відрізок Δl , який не перевищує 5 мм. Якщо τ зростає монотонно, то за опір ґрунту зрізу слід приймати τ при $\Delta l = 5$ мм.

1.3) Підготовка лабораторної експериментальної установки.

Установка розміщується на відкритій рівній твердій поверхні. Домкрат встановлюється на набірний щит, а його шток – до спеціальної виїмки у піддоні системи прогріву.

Електроприлади забезпечуються електричним живленням 220 В. Опрыскувач заповнюється водою.

1.3.1) Відбір та транспортування експериментального матеріалу з карти полігону ТПВ з глибини не менш 1 м. Звалищний ґрунт відбирають за допомогою сокири, лопати до відер та транспортують до експериментального майданчику.

1.3.2) Формування горизонтальної поверхні зафіксованої частини експериментального боксу під розміщення

макету ліквідаційного енергоємного технологічного устаткування.

1.3.3) Формування дослідницьких блоків експериментального матеріалу з заданою щільністю. Задане значення щільності досягається за рахунок фіксованого розміру формочок V_{ϕ_i} для формування зсувного блоку та поверхні ковзання з заздалегідь визначеною масою $m_{зс.б}$ та $m_{п.к.}$ відповідно:

$$m_{зс.б(п.к.)} = V_{\phi_i} \cdot \rho_i \quad (10)$$

Експериментальний матеріал зважують до визначеної маси, засипають до металевих формочок, встановлених на основу експериментального боксу. Ручною металевою ступкою відтворюються форми за

розмірами та заданою щільністю. Формочки вилучаються з лабораторної установки.

2) Проведення серій експериментів відповідно до плану (матриці) експериментальних досліджень (табл. 1).

2.1) Експериментальні дослідження впливу показників фізичного стану звалищних ґрунтів на стійкість схилів на зсув – визначення механічних показників та кута зсуву експериментальних блоків ($T_{рідини}=T_{прогр}$).

2.2) Експериментальні дослідження впливу показників фізичного стану звалищних ґрунтів на стійкість схилів на зсув за умови поступового наростання вологості – визначення показників вологості, температури та щільності.

Таблиця 1 – Матриця планування експериментальних досліджень

№ дослідження	Порядок проведення досліджень			Матриця планування		
				x_p	x_T	$x_{w(\alpha)}$
1	1	2	3	-1	-1	-1
2	4	5	6	-1	-1	+1
3	7	8	9	-1	0	0
4	10	11	12	-1	+1	-1
5	13	14	15	-1	+1	+1
6	16	17	18	0	-1	-1
7	19	20	21	0	-1	0
8	22	23	24	0	0	-1
9	25	26	27	0	0	+1
10	28	29	30	0	+1	0
11	31	32	33	+1	-1	-1
12	34	35	36	+1	-1	+1
13	37	38	39	+1	0	0
14	40	41	42	+1	+1	0
15	43	44	45	+1	+1	+1

3) Обробка результатів спостереження [24].

3.1) Виключення з результатів спостережень відомі систематичні похибки шляхом введення відповідних поправок.

3.2) Обчислення середніх арифметичних значень результатів спостережень $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ та прийняти його в якості результату вимірювання.

3.3) Оцінка розсіювання одиничних

результатів спостережень в групі щодо середнього їх значення \bar{x} , для чого обчислюються значення дисперсії σ і перевіряється наявність грубих похибок в групі спостережень, враховуючи, що при нормальному законі розподілу жодна випадкова похибка $x_i - \bar{x}$ з ймовірністю, що практично дорівнює одиниці, не може вийти за межі $\pm 3\sigma$:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}. \quad (11)$$

3.4) Обчислення середньоквадратичного відхилення середнього арифметичного $S_{\bar{x}}$ результату вимірювання:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n \cdot (n-1)}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}. \quad (12)$$

3.5) Доведення, що результати спостережень належать нормальному розподілу.

3.6) Обчислення довірчого інтервалу для математичного очікування випадкової величини з надійністю γ :

$$\bar{x} - t_{\gamma} \cdot S_{\bar{x}} < a < \bar{x} + t_{\gamma} \cdot S_{\bar{x}}, \quad (13)$$

де \bar{x} – емпіричне математичне очікування (середнє арифметичне за вибіркою); $S_{\bar{x}}$ – середньоквадратичне відхилення середнього арифметичного; a – математичне очікування випадкової величини, розподіленої за нормальним законом; t_{γ} – коефіцієнт розподілу Стюдента, який

залежить від числа спостережень і обраної довірчої ймовірності – табличні данні.

В подальшому наукова робота спрямована на аналіз результатів польових досліджень по визначенню експериментальної області факторного простору впливу показників фізичного стану звалищних ґрунтів на стійкість схилів на зсув, проведення серії експериментів на розробленій лабораторній установці за вказаною методикою, та обробку результатів спостереження з метою перевірки достовірності зазначених математичної моделі та розробленої на її основі методики попередження НС.

Таким чином, в роботі вирішена актуальна науково-практична задача розробки лабораторно-експериментальної установки для перевірки достовірності математичної моделі та розробленої на її основі методики попередження НС каскадного типу поширення внаслідок зсуву звалищних ґрунтів на полігоні ТПВ з ЛЕТУ.

Висновки

1. Розроблено лабораторну установку, яка дозволяє провести експериментальні дослідження впливу показників фізичного стану звалищних ґрунтів на стійкість схилів на зсув. До складу розробленої лабораторної установки входять прямокутний експериментальний бокс з поворотною та зафіксованою частинами, поворотний та стопорний механізми, настільні плити, обприскувач, система дотичного навантаження.

2. Розроблена методика проведення досліджень стійкості схилів звалищних ґрунтів та обробки результатів спостереження, яка включає процедури

встановлення початкових та граничних умов; підготовки лабораторної установки; проведення серії експериментів по визначенню механічних показників та кута зсуву експериментальних блоків, та серії експериментів по визначенню показників вологості, температури та щільності звалищних ґрунтів за фактом зсуву з урахуванням поступового наростання вологості; статистичну обробку щодо отримання статистичної вибірки значень ефективних показників фізичного стану звалищних ґрунтів, що входять в довірчий інтервал за класичним методом статистики – t -критерій Стюдента.

Список використаних джерел

1. Рашкевич Н.В. Аналіз техногенної небезпеки технологій поводження з твердими побутовими відходами. *Науково-технічний збірник «Комунальне господарство міст». Серія: Технічні науки та архітектура*. 2019. № 152. С. 58–66.
2. Nejan Huvaj-Sarihan, Timothy D. Stark (2008). Back-Analyses of Landfill Slope Failures. International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, 12.
3. DSCWM. 2016. Guideline on Landslide Treatment and Mitigation. Department of soil

- Conservation and Watershed Management, Kathmandu, Nepal.
4. Skrzypczak I., Kokoszka W., Kogut J., Oleniacz G. (2017). Methods of Measuring and Mapping of Landslide Areas. World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium. 2017. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 95. 022013.
 5. Parkash Surya (2019). Landslide Preparedness Guidelines for Safety of Buildings on Slopes; published by National Institute of Disaster Management, Ministry of Home Affairs, Government of India. New Delhi-110001. India. 80.
 6. Illmer D., Helgason J. K., Jóhannesson T., Gíslason E., Hauksson S. Report VÍ 2016-006. Overview of landslide hazard and possible mitigation measures in the settlement southeast of Fjarðará River in Seyðisfjörður. 75. URL: https://www.vedur.is/media/vedurstofan-utgafa-2016/VI_2016_006_rs.pdf
 7. Kumar Y. S., Kumar S., Sekharan S., Ranjan R. R. (2019). Determination of soil erosion index for surface soils of landfill covers. Environmental Geotechnics. 6. 6. 373–380.
 8. Li X., Yan Q., Zhao S. et al. (2020). Investigation of influence of baffles on landslide debris mobility by 3D material point method. Landslides.
 9. Koda E., Głazewski M. Technical and biological reinforcement of rebuilt landfill slopes. Conference: 13th Danube-European Conference on Geotechnical Engineering At: Ljubljana. Vol. 2.
 10. Xia B., Xiong Z., Peng C., Zhang C. (2016). The slope instability emergency rescue analysis when the neighboring deep the foundation pit retaining structure construction. Environment, Energy and Earth Sciences.
 11. Agarwal A., Datta M., Ramana G. V., Satyakam R. (2019). Improving the Slope Stability of Municipal Solid Waste Dumps Using Reinforced Soil Berms: A Case Study. In: Zhan L., Chen Y., Bouazza A. (eds) Proceedings of the 8th International Congress on Environmental Geotechnics. Vol. 2. ICEG 2018. Environmental Science and Engineering. Springer, Singapore.
 12. Gupta D., Datta M., Manna B. (2018). Stabilization of old msw landfills using reinforced soil. Indian Geotechnical conference, Bengaiuru.
 13. Viswanadham B. V. S., Rajesh S., Divya P. V., Gourc J. P. (2011). Influence of randomly distributed geofibers on the integrity of clay-based landfill covers: a centrifuge study. Geosynthetics International. 18. 5. 255–271.
 14. Дівізінюк М. М., Азаренко О. В., Шевченко Р. І. Проблемні питання та шляхи уніфікації понятивного апарату парадигми цивільний захист. Розвиток цивільного захисту в сучасних безпекових умовах: Матеріали 21 Всеукраїнської НПК (за міжнародною участю). Київ: ІДУЦЗ, 2019. С. 102–103.
 15. Азаренко Е. В., Бляшенко О. В., Ковач В. Е., Дивизинюк М. М. Хронология чрезвычайных ситуаций и основные этапы их развития. *Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист*. 2014. № 7. С. 119–128.
 16. Шевченко Р. І. Обґрунтування підходів до класифікації надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру в контексті розбудови системи моніторингу. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. Сб. наук. пр. Харків: НУЦЗУ 2016. Вип. 23. С. 192–207.
 17. Наказ МВС України від 06.08.2018 № 658 «Про затвердження Класифікаційних ознак надзвичайних ситуацій». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0969-18>.
 18. Національний класифікатор України. Класифікатор надзвичайних ситуацій ДК 019:2010. Київ, Держспоживстандарт України. 2010. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va4576-09-10>
 19. Постанова КМУ від 24.03.2004 № 368 «Про затвердження Порядку класифікації надзвичайних ситуацій за їх рівнями». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/368-2004-%D0%BF>.

20. Рашкевич Н. В. Формування математичного апарату методики попередження надзвичайної ситуації на полігоні твердих побутових відходів з технологічним устаткуванням. *Науково-технічний збірник «Комунальне господарство міст»*. Серія: Технічні науки та архітектура. 2020. № 154. С. 100–107.
21. Рашкевич Н. В. Розробка керуючого алгоритму методики попередження надзвичайних ситуацій на полігоні твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням. *Науково-технічний збірник «Комунальне господарство міст»*. Серія: технічні науки та архітектура. 2020. № 156. С. 188–194.
22. ДСТУ Б В.2.1-17:2009. Основи та підвалини будинків і споруд. ҐРУНТИ. Методи лабораторного визначення фізичних властивостей. Київ Мінрегіонбуд України 2010.
23. ДСТУ Б В.2.1-4-96 (ГОСТ 12248-96) Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи лабораторного визначення характеристик міцності і деформованості. Державний комітет України у справах містобудування і архітектури Київ 1997.
24. Шевченко Р. І. Організаційно-технічні методи попередження надзвичайних ситуацій медико-біологічного характеру місцевого та регіонального рівнів: дис. ... док. техн. наук: 21.02.03; 21. НУЦЗ України. Х., 2018. 372 с.

Разработка лабораторно-экспериментальной установки для проверки достоверности математической модели и разработанной на ее основе методики предупреждения чрезвычайных ситуаций на полигонах твердых бытовых отходов с технологическим ликвидационным энергоёмким оборудованием

Михаил Дивизинюк * ^A; Владимир Мирненко ^A; Нина Рашкевич ^B;
Ольга Шевченко ^C

*Corresponding author: д.ф.-м.н., профессор, заведующий отделом, e-mail: divizinyuk@ukr.net, ORCID: 0000-0002-5657-2302

^A Институт геохимии и окружающей среды НАН Украины, пр-кт Академика Палладина, 34а, г. Киев, 03142, Украина

^B Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, пр-кт Воздухофлотский, 28, г. Киев, 03049, Украина

^C Национальный университет гражданской защиты Украины, ул. Чернышевская, 94, Харьков, 61023, Украина

Аннотация

В работе представлена разработанная лабораторная установка, которая позволяет провести экспериментальные исследования влияния показателей физического состояния свалочных грунтов на устойчивость склонов на сдвиг и проверить достоверность математической модели и разработанной на ее основе методики предупреждения чрезвычайных ситуаций каскадного типа распространения вследствие оползней свалочных грунтов на полигоне твердых бытовых отходов с технологическим ликвидационным энергоёмким оборудованием. Основными элементами разработанной установки являются прямоугольный экспериментальный бокс с поворотной и зафиксированной частями, поворотный и стопорный механизмы, настольные плиты, опрыскиватель, система касательной нагрузки. В качестве основных требований к установке определено возможность проведения серий экспериментов, основанных на использовании оползневых экспериментальных блоков с изменением влажности, плотности, температуры и угла наклона основания поверхности скольжения, а также определения механических характеристик – угла внутреннего трения, удельного сцепления свалочных грунтов. Исследования с использованием лабораторной установки

базируются на предположении – переход оползневого экспериментального блока свалочных грунтов в динамическое состояние считается возникновением чрезвычайной ситуации объектового уровня распространения.

В ходе работы разработана методика проведения экспериментальных исследований и обработки результатов наблюдений. Методика включает в себя процедуры: установление начальных и граничных условий; подготовку лабораторной установки; проведение серий экспериментов по определению механических показателей и угла сдвига экспериментальных блоков, и серий экспериментов по определению показателей влажности, температуры и плотности свалочного грунта по факту сдвига с учетом постепенного нарастания влажности; статистическую обработку по получению статистической выборки значений эффективных показателей физического состояния свалочных грунтов, входящих в доверительный интервал по классическому методу статистики – t -критерий Стьюдента.

Ключевые слова: полигон твердых бытовых отходов, ликвидационное энергоемкое технологическое оборудование, оползни, свалочный грунт, предупреждения чрезвычайных ситуаций.

Development of a laboratory-experimental installation for verification of the mathematical model and the methodology developed on its basis for the prevention of emergencies on landfills with liquidation energy-intensive technological equipment

Mykhailo Divizinyuk * ^A; Volodymyr Mirnenko ^A; Nina Rashkevich ^B;
Olga Shevchenko ^C

*Corresponding author: Dr., Professor, Head of Department, e-mail: divizinyuk@ukr.net, ORCID: 0000-0002-5657-2302

^A Institute of Geochemistry and Environment of the National Academy of Sciences of Ukraine, 34a Akademika Palladyna Ave., Kyiv, 03142, Ukraine

^B The National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskiy, 28, Povitroflotskyi Ave., Kyiv, 03049, Ukraine

^C National University of Civil Defense of Ukraine, 94, Chernyshevskaya, st., Kharkiv, 61023, Ukraine

Abstract

Authors present the developed laboratory installation. The laboratory installation allows to determine the influence of indicators of the physical state of landfill soils on the stability of slopes to shear, it allows you to check the reliability of the mathematical model and the methodology developed on its basis for the prevention of emergencies of the cascade type of propagation due to landslides of landfill soils on landfill with liquidation energy-intensive technological equipment. A rectangular experimental box with swivel and fixed parts, swivel and locking mechanisms, table plates, sprayer, tangential load system are the main elements of the developed laboratory installation. The possibility of conducting a series of experiments based on the use of landslide experimental blocks with changes in humidity, density, temperature and angle of inclination of the base of the sliding surface, as well as determining the mechanical characteristics (angle of internal friction, specific adhesion of landfill soils) are the main requirements for the installation. The transition of a landslide experimental block of landfill soils into a dynamic state is considered the emergence of an emergency at the object level of distribution.

In the course of the work, a technique was developed for conducting experimental studies and processing observation results. The methodology includes the following procedures: establishment of initial and boundary conditions; preparation of a laboratory installation; conducting a series of experiments to determine the mechanical parameters and the shear angle of the experimental blocks, and a series of experiments to determine the indicators of

moisture, temperature and density of landfill soil on the fact of a shift, taking into account a gradual increase in moisture; statistical processing to obtain a statistical sample of the values of the effective indicators of the physical state of landfill soils included in the confidence interval according to the classical statistical method – Student's *t*-test.

Keywords: landfill, liquidation energy-intensive technological equipment, landslide, landfill grounds, prevention of emergencies.

References

1. Rashkevych N.V. Analiz tekhnohennoyi nebezpeky tekhnolohiy povodzhennya z tverdymy pobutovymy vidkhodamy. *Naukovo-tekhnichnyy zbirnyk «Komunal'ne hospodarstvo mist»*. Seriya: *Tekhnichni nauky ta arkhitektura*. 2019. № 152. S. 58–66.
2. Nejan Huvaj-Sarihan, Timothy D. Stark (2008). Back-Analyses of Landfill Slope Failures. International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, 12.
3. DSCWM. 2016. Guideline on Landslide Treatment and Mitigation. Department of soil Conservation and Watershed Management, Kathmandu, Nepal.
4. Skrzypczak I., Kokoszka W., Kogut J., Oleniacz G. (2017). Methods of Measuring and Mapping of Landslide Areas. World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium. 2017. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 95. 022013.
5. Parkash Surya (2019). Landslide Preparedness Guidelines for Safety of Buildings on Slopes; published by National Institute of Disaster Management, Ministry of Home Affairs, Government of India. New Delhi-110001. India. 80.
6. Illmer D., Helgason J. K., Jóhannesson T., Gíslason E., Hauksson S. Report VÍ 2016-006. Overview of landslide hazard and possible mitigation measures in the settlement southeast of Fjarðará River in Seyðisfjörður. 75. URL: https://www.vedur.is/media/vedurstofan-utgafa-2016/VI_2016_006_rs.pdf
7. Kumar Y. S., Kumar S., Sekharan S., Ranjan R. R. (2019). Determination of soil erosion index for surface soils of landfill covers. *Environmental Geotechnics*. 6. 6. 373–380.
8. Li X., Yan Q., Zhao S. et al. (2020). Investigation of influence of baffles on landslide debris mobility by 3D material point method. Landslides.
9. Koda E., Głazewski M. Technical and biological reinforcement of rebuilt landfill slopes. Conference: 13th Danube-European Conference on Geotechnical Engineering At: Ljubljana. Vol. 2.
10. Xia B., Xiong Z., Peng C., Zhang C. (2016). The slope instability emergency rescue analysis when the neighboring deep the foundation pit retaining structure construction. Environment, Energy and Earth Sciences.
11. Agarwal A., Datta M., Ramana G. V., Satyakam R. (2019). Improving the Slope Stability of Municipal Solid Waste Dumps Using Reinforced Soil Berms: A Case Study. In: Zhan L., Chen Y., Bouazza A. (eds) Proceedings of the 8th International Congress on Environmental Geotechnics. Vol. 2. ICEG 2018. Environmental Science and Engineering. Springer, Singapore.
12. Gupta D., Datta M., Manna B. (2018). Stabilization of old msw landfills using reinforced soil. Indian Geotechnical conference, Bengaiuru.
13. Viswanadham B. V. S., Rajesh S., Divya P. V., Gourc J. P. (2011). Influence of randomly distributed geofibers on the integrity of clay-based landfill covers: a centrifuge study. *Geosynthetics International*. 18. 5. 255–271.
14. Divizinyuk M. M., Azarenko O. V., Shevchenko R. I. Problemni pytannya ta shlyakhy unifikatsiyi ponyatyvnoho aparatu paradyhmy tsyvil'nyy zakhyst. Rozvytok tsyvil'noho zakhystu v suchasnykh bezpekovykh umovakh: Materialy 21 Vseukrayins'koyi NPK (za mizhnarodnoyu uchastyu). Kyiv: IDUTSZ, 2019. S. 102–103.
15. Azarenko E. V., Blyashenko O. V., Kovach V. E., Dyvyzynyuk M. M. Khronolohyya chrezvychaynykh sytuatsyy y osnovne etapy ykh razvytyya. *Tekhnohenko-ekolohichna bezpeka ta tsyvil'nyy zakhyst*. 2014. № 7. S.

- 119–128.
16. Shevchenko R. I. Obgruntuvannya pidkhodiv do klasyfikatsiyi nadzvychaynykh sytuatsiy pryrodnoho ta tekhnohennoho kharakteru v konteksti rozbudovy systemy monitorynhu. *Problemy nadzvychaynykh sytuatsiy*. Sb. nauk. pr. Kharkiv: NUTSZU 2016. Vyp. 23. S. 192–207.
17. Nakaz MVS Ukrayiny vid 06.08.2018 № 658 «Pro zatverdzhennya Klasyfikatsiynykh oznak nadzvychaynykh sytuatsiy». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0969-18>.
18. Natsional'nyy klasyfikator Ukrayiny. Klasyfikator nadzvychaynykh sytuatsiy DK 019:2010. Kyiv, Derzhspozhyvstandart Ukrayiny. 2010. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va4576-09-10>
19. Postanova KMU vid 24.03.2004 № 368 «Pro zatverdzhennya Poryadku klasyfikatsiyi nadzvychaynykh sytuatsiy za yikh rivnyamy». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/368-2004-%D0%BF>.
20. Rashkevych N. V. Formuvannya matematychnoho aparatu metodyky poperedzhennya nadzvychaynoyi sytuatsiyi na polihoni tverdych pobutovykh vidkhodiv z tekhnolohichnym ustatkuvanniam. *Naukovo-tekhnichnyy zbirnyk «Komunal'ne gospodarstvo mist»*. Seriya: *Tekhnichni nauky ta arkhitektura*. 2020. № 154. S. 100–107.
21. Rashkevych N. V. Rozrobka keruyuchoho alhorytmu metodyky poperedzhennya nadzvychaynykh sytuatsiy na polihoni tverdych pobutovykh vidkhodiv z likvidatsiynym enerhoyemnym tekhnolohichnym ustatkuvanniam. *Naukovo-tekhnichnyy zbirnyk «Komunal'ne gospodarstvo mist»*. Seriya: *tekhnichni nauky ta arkhitektura*. 2020. № 156. S. 188–194.
22. DSTU B V.2.1-17:2009. Osnovy ta pidvalyny budynkiv i sporud. GRUNTY. Metody laboratornoho vyznachennya fizychnykh vlastyvostey. Kyiv Minrehionbud Ukrayiny 2010.
23. DSTU B V.2.1-4-96 (HOST 12248-96) Osnovy ta pidvalyny budynkiv i sporud. Grunty. Metody laboratornoho vyznachennya kharakterystyk mitsnosti i deformovanosti. Derzhavnyy komitet Ukrayiny u spravakh mistobuduvannya i arkhitektury Kyiv 1997.
24. Shevchenko R. I. Ohanizatsiyno-tekhnichni metody poperedzhennya nadzvychaynykh sytuatsiy medyko-biolohichnoho kharakteru mistsevoho ta rehional'noho rivniv: dys. ... dok. tekhn. nauk: 21.02.03; 21. NUTSZ Ukrayiny. KH., 2018. 372 s.