

Національний університет цивільного захисту України
Державної служби України з надзвичайних ситуацій

Національний університет цивільного захисту України
Державної служби України з надзвичайних ситуацій

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

Рашкевич Ніна Владиславна

УДК 621.03.9

ДИСЕРТАЦІЯ
ПОПЕРЕДЖЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ НА ПОЛІГОНІ
ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ З ЛІКВІДАЦІЙНИМ
ЕНЕРГОЄМНИМ ТЕХНОЛОГІЧНИМ УСТАТКУВАННЯМ

263 – цивільна безпека

26 – цивільна безпека

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

_____ Н.В. Рашкевич

Науковий керівник Колосков Володимир Юрійович, кандидат технічних наук,
доцент

Харків – 2021

АНОТАЦІЯ

Рашкевич Н. В. Попередження надзвичайних ситуацій на полігоні твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 263 – цивільна безпека (26 – цивільна безпека). Національний університет цивільного захисту України, Державна служба України з надзвичайних ситуацій, Харків, 2021.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної науково-практичної задачі у сфері цивільної безпеки – розробці методики попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів на полігоні твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням, в інтересах недопущення переростання надзвичайної ситуації з об'єктового на більш високі рівні поширення небезпеки, реалізація якої дозволить захистити від ураження цивільних осіб та фахівців підрозділів Державної служби України з надзвичайних ситуацій.

Досягнення поставленої мети передбачає вирішення наступних **задач**:

1. Провести аналіз сучасного стану попередження надзвичайних ситуацій на полігоні твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням.

2. Розробити математичну модель попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів на полігоні твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням та розробити на її основі відповідну методику.

3. Перевірити достовірність розробленої математичної моделі попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів на полігоні твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням та розробленої на її

основі відповідної методики.

4. Запропонувати пропозиції щодо реалізації розробленої методики попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів на полігоні твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням.

Для розв'язання поставлених задач комплексно використовувалися теоретичні та експериментальні **методи досліджень**: аналізу та синтезу, узагальнення, математичного моделювання, теорії ймовірностей, теорії прийняття рішень, математичної статистики, польові та лабораторні методи спостереження та виміру.

В якості **об'єкта дослідження** обрано процес попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів на полігоні твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням.

Предметом дослідження є параметри процесу попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів на полігоні твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням, які обумовлені фізичними властивостями звалищних ґрунтів, технологічними показниками ліквідаційного енергоємного технологічного устаткування.

У **вступі** обґрунтовано актуальність обраної теми, зазначено зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, сформульовано мету і завдання наукового дослідження, визначено об'єкт, предмет і методи досліджень, розкрито наукову новизну отриманих результатів і практичну цінність роботи, наведено дані про особистий внесок здобувача, апробацію та публікацію результатів дисертації, загальний її обсяг.

У **першому розділі** «Аналіз сучасного стану попередження надзвичайних ситуацій на полігонах твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням» проведений аналіз техногенної небезпеки полігонів твердих побутових з урахуванням сучасних тенденцій

розміщення на їх території ліквідаційного енергоємного технологічного устаткування, існуючих підходів до моделювання умов їх функціонування, та аналіз підходів до попередження надзвичайних ситуацій на зазначених об'єктах. Виконана постановка задачі наукового дослідження – розробка методики попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів на полігоні твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням, в інтересах недопущення переростання надзвичайної ситуації з об'єктового на більш високі рівні поширення небезпеки, реалізація якої дозволить захистити від ураження цивільних осіб та фахівців підрозділів Державної служби України з надзвичайних ситуацій.

У **другому розділі** «Розробка математичної моделі попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів на полігоні твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням та розробка на її основі відповідної методики» проаналізовані фізичні умови попередження надзвичайних ситуацій, знайдено рішення окремих задач з оцінки вологості, щільності, температури звалищних ґрунтів, та рівня небезпеки зсувного масиву звалищних ґрунтів у залежності від технологічних показників ліквідаційного енергоємного технологічного устаткування. Це дозволило визначити умови рішення окремих задач, які увійшли до загальної математичної моделі. Математична модель попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів на полігоні твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням уявляє собою систему з чотирьох аналітичних залежностей. Перша аналітична залежність описує залежність кількості загиблих осіб від фізичних властивостей звалищних ґрунтів, як-то вологість, щільність, температура, та технологічних показників ліквідаційного енергоємного технологічного устаткування. Друга описує залежність кількості постраждалих від фізичних властивостей звалищних ґрунтів, як-то вологість, щільність, температура, та технологічних показників

ліквідаційного енергоємного технологічного устаткування. Третя описує залежність кількості осіб з порушенням умов життєдіяльності від фізичних властивостей звалищних ґрунтів, як-то вологість, щільність, температура, та технологічних показників ліквідаційного енергоємного технологічного устаткування. Четверта дозволяє визначити умови відсутності постраждалих та жертв, як наслідків надзвичайної ситуації першого рівня пріоритетності, в залежності від варіації рішень окремих задач з оцінки фізичних властивостей звалищних ґрунтів, та небезпеки зсувного масиву з урахуванням технологічних показників ліквідаційного енергоємного технологічного устаткування. Умовою існування наведеної математичної моделі є набір початкових та граничних умов не переростання наслідків надзвичайної ситуації за межі об'єктового рівня поширення небезпеки з урахуванням отримання максимальної кількості метану у складі біогазу.

На основі математичної моделі розроблено методику попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів на полігоні твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням, реалізація якої передбачає виконання груп робіт до та після факту переміщення зсувного масиву, а саме: пов'язаних з проектуванням та будівництвом об'єкту; пов'язаних з експлуатацією об'єкту; пов'язаних з локалізацією та ліквідацією негативних наслідків зсуву; пов'язаних з усуненням небезпеки подальшого зсуву та стабілізацією роботи об'єкту.

У **третьому розділі** «Перевірка достовірності розробленої математичної моделі попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів на полігоні твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням та розробленої на її основі відповідної методики» описано розроблену лабораторну установку та методику проведення експериментальних досліджень впливу фізичних властивостей звалищних ґрунтів на стійкість схилів, а також, з використанням зазначених установки та методики, проведено натурні експериментальні

дослідження, результати яких співпадають з результатами імітаційних, входять в довірчий інтервал, розрахований з ймовірністю 95 % за критерієм Стюдента, що підтверджує достовірність розробленої математичної моделі попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів на полігоні твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням та розробленої на її основі відповідної методики.

У **четвертому розділі** «Пропозиції щодо реалізації розробленої методики попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів на полігоні твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням» розглянуті умови ефективної реалізації розробленої методики попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів на полігоні твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням. До пропозиції відноситься: по-перше, виявлення прихованих осередків та шляхів поширення техногенної небезпеки на полігонах твердих побутових відходів шляхом застосування дистанційних методів та засобів спостереження за станом атмосферного повітря, звалищних ґрунтів, що дозволить за рахунок поінформованості забезпечити безпечні умови функціонування аварійно-рятувальних підрозділів під час попередження надзвичайних ситуацій безпосередньо на об'єкті їх виникнення. По-друге, підхід ведення аналізу стану атмосферного повітря, як основного джерела перенесення небезпечних речовин, з метою своєчасної реалізації комплексних санітарно-гігієнічних превентивних заходів, що дозволить зменшити наслідки впливу надзвичайних ситуацій за межами об'єкту їх виникнення на довкілля та населення, які мешкають у зоні можливого ураження.

Практичне значення отриманих результатів дисертаційного дослідження полягає у застосуванні розроблених математичної моделі та методики в підрозділах Державної служби України з надзвичайних ситуацій місцевого та регіонального рівня підпорядкованості. Основні результати

дослідження використані в рамках пілотного впровадження в Ізюмському районному відділі Головного управління Державної служби України з надзвичайних ситуацій у Харківській області (акт впровадження від 01.09.2020 року) та у комунальному підприємстві «Благоустрій міста Ізюм» (акт впровадження від 09.09.2020 року) в рамках удосконалення системи підтримки прийняття рішення керівником робіт з попередження та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій на полігоні твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням.

Таким чином, в дисертації вирішено актуальну науково-практичну задачу у сфері цивільної безпеки – розроблено методика попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів на полігоні твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням, в інтересах недопущення переростання надзвичайної ситуації з об'єктового на більш високі рівні поширення небезпеки, реалізація якої дозволить захистити від ураження цивільних осіб та фахівців підрозділів Державної служби України з надзвичайних ситуацій

Ключові слова: попередження надзвичайної ситуації, полігон твердих побутових відходів, ліквідаційне енергоємне технологічне устаткуванням, зсув, звалищні ґрунти.

Список публікацій здобувача за темою дисертації

Наукові праці, у яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Монографія:

1. **Рашкевич Н., Гончаренко Ю., Вовчук Т.** Розділ. 3.9. Попередження надзвичайних ситуацій на потенційно-небезпечних об'єктах з надлишковим енергоємним технологічним устаткуванням в контексті вирішення проблеми підвищення безпеки та якості життя в сучасному світі // Improving living

standards: current opportunities and limitations. Monograph. Editors: Wojciech Duczmal, Iryna Ostopolets. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole, 2020. P. 369–379. ISBN 978-83-66567-21-4.

Особисто здобувачем проведено польових та лабораторних досліджень з визначення фізико-механічних властивостей звалищних ґрунтів та їх впливу на стійкість схилів, та оброблено їх результати.

Статті у наукових фахових виданнях України, що входять до міжнародних наукометричних баз:

2. Vambol S., Vambol V., Bogdanov I., Suchikova Y., **Rashkevich N.** Research of the influence of decomposition of wastes of polymers with nano-inclusions on the atmosphere. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. 6/10 (90). P. 57–64. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.118213. (Видання включено до категорії «А» Переліку фахових видань України та міжнародної наукометричної бази Scopus)

Особисто здобувачем проведено обробку результатів експериментів по визначенню концентрації токсичних речовин, які виділяються при термічному розкладанні синтетичних полімерних матеріалів та обґрунтовано можливість проведення високоточної ідентифікації газоподібних речовин в атмосфері з метою виявлення прихованої небезпеки в тілі полігону твердих побутових відходів.

3. **Rashkevich N.**, Goncharenko I., Anishenko L., Pisnya L., Petrukhin S., Serikova E. Biogas from the municipal solid waste polygon. *Scientific Journal «ScienceRise»*. № 9 (50) 2018. P. 39–42. DOI: 10.15587/2313-8416.2018.143412. (Видання включено до міжнародних наукометричних баз Index Copernicus та Ulrich's Periodicals)

Особисто здобувачем проведено аналіз існуючих математичних моделей переміщення небезпечних речовин над полігоном твердих побутових відходів, сформульовані висновки щодо залежності швидкості та радіуса переміщення нагрітого утворення різної плавучості та запропоновано практичну цінність моделі у сфері цивільної безпеки з метою ефективного впровадження розробленої методики попередження надзвичайних ситуацій –

зменшення негативних наслідків впливу за межами об'єкту їх виникнення на довкілля та населення.

4. **Рашкевич Н. В.** Аналіз техногенної небезпеки технологій поводження з твердими побутовими відходами. *Науково-технічний збірник «Комунальне господарство міст»*. Серія: технічні науки та архітектура. 2019. Т. 6. № 152 (2019). С. 58–66. DOI: 10.33042/2522-1809-2019-6-152-58-66. (Видання включено до міжнародних наукометричних баз Index Copernicus)

5. **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. Т. 1. № 154 (2020). С. 100–107. DOI: 10.33042/2522-1809-2020-1-154-100-107. (Видання включено до міжнародних наукометричних баз Index Copernicus)

6. **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. Т. 3. № 156 (2020). С. 188–194. DOI: 10.33042/2522-1809-2020-3-156-188-194. (Видання включено до міжнародних наукометричних баз Index Copernicus)

7. Дівізінюк М., Мірненко В., **Рашкевич Н.**, Шевченко О. 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. *Social Development and Security*. 2020. Vol. 10. № 5. С. 15–27. DOI: 10.33445/sds.2020.10.5.2. (Видання включено до міжнародних наукометричних баз Index Copernicus та Ulrich's Periodicals)

Особисто здобувачем розроблено лабораторну установку, яка дозволяє провести експериментальні дослідження впливу фізичних властивостей звалищних ґрунтів на стійкість схилів, та відповідну методику проведення досліджень.

Статті у наукових фахових виданнях України:

8. **Рашкевич Н. В.**, Черепньов І. А., Ковальов І. О. Спосіб виявлення пожеж на території полігону твердих побутових відходів. *Інженерія природокористування*. 2019. № 3 (13). С. 102–109. DOI: 10.37700/enm.2019.3(13).102-109.

Особисто здобувачем запропоновано спосіб виявлення пожеж на території полігону твердих побутових відходів.

Патенти:

9. Патент на корисну модель № 128973 U, Україна, МПК (2018.01) А62С 3/02, G01V 3/16 (2006/01), G01V 8/00. Спосіб виявлення пожеж на полігонах твердих побутових відходів / Вамболь С. О., Вамболь В. В., Резніченко Г. М., Кондратенко О. М., Колосков В. Ю., **Рашкевич Н. В.**; власник: НУЦЗ України. - № 201805655; завл. 21.05.2018; опубл. 10.10.2018, Бюл. № 19.

Особисто здобувачем проведено аналіз патентної бази щодо наявних способів виявлення пожеж на полігонах твердих побутових відходів та запропоновано використовувати блок мікрохвильової радіометрії для визначення межі, глибини та температури зони горіння, виявлення пустот і прогарів.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

10. Рашкевич А. С., **Рашкевич Н. В.**, Вамболь В. В. Исследование особенностей лазерного метода для контроля атмосферного воздуха в зоне чрезвычайных ситуаций. Збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції «Проблемы гражданской защиты: управление, предупреждение, аварийно спасательные и специальные работы», 17 березня 2017 р., Республіка Казахстан, м. Кокшетау: РДУ «КТІ КНС МВС Республіки Казахстан». С. 245–248 (форма участі – заочна).

Особисто здобувачем проведено аналіз можливості організації дистанційного моніторингу атмосферного повітря в районах виникнення надзвичайних ситуацій за допомогою лазерного комплексу.

11. **Рашкевич Н. В.** Виявлення ознак небезпеки під час експлуатації полігонів твердих побутових відходів. Збірник матеріалів Міжнародної наукової інтернет-конференції «Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення» (Випуск 24), 15 листопада 2017 р., м. Тернопіль. С. 84–87.

12. **Рашкевич Н. В.** Обґрунтування підвищення техногенно-екологічної безпеки полігонів твердих побутових відходів. Збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених «Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту», 28–29 березня 2018 р., м. Харків: НУЦЗ України. С. 360 (форма участі – очна).

13. Колосков В. Ю., **Рашкевич Н. В.** Ідентифікація небезпеки місць видалення твердих побутових відходів. Збірник матеріалів 21 Всеукраїнської науково-практичної конференції «Розвиток цивільного захисту в сучасних безпекових умовах», 8 жовтня 2019 р., м. Київ: УкрНДЦЗ. С. 130–132 (форма участі – заочна).

Особисто здобувачем розглянуто та проаналізовано можливі надзвичайні ситуації на полігоні твердих побутових відходів.

14. **Рашкевич Н. В.** Актуальність питання попередження надзвичайної ситуації на комунікації або технологічному устаткуванні полігону твердих побутових відходів. Збірник матеріалів Сьомої міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми інформатизації», 13–15 листопада 2019 р., м. Черкаси – Баку – Бельсько-Бяла – Харків. С. 77 (форма участі – заочна).

15. **Рашкевич Н. В.** Техногенная опасность на полигонах твердых бытовых отходов с технологическим оборудованием. Постановка задач исследования. Збірник матеріалів III Міжнародної заочної науково-практичної конференції «Безопасность человека и общества: совершенствование системы реагирования и управления защитой от чрезвычайных ситуаций», 29 листопада 2019 р., Республіка Білорусь, м. Мінськ: Університет цивільного захисту МНС Республіки Білорусь. С. 71–73 (форма участі – заочна).

16. **Рашкевич Н. В.** Надзвичайні ситуації на полігоні твердих побутових відходів з технологічним устаткуванням. Збірник матеріалів XV Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених, курсантів та студентів «Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності», 26–27 березня 2020 р., м. Львів. С. 471–473 (форма участі – заочна).

17. **Рашкевич Н. В.** Граничные условия предупреждения чрезвычайной ситуации на полигоне твердых бытовых отходов с технологическим оборудованием. Збірник матеріалів XIV Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених «Обеспечение безопасности: проблемы и перспективы», 8–9 квітня 2020 р., Республіка Білорусь, м. Мінськ: Університет цивільного захисту МНС Республіки Білорусь. С. 126–127 (форма участі – заочна).

18. **Рашкевич Н. В.** Розробка математичної основи попередження надзвичайної ситуації на полігоні твердих побутових відходів з технологічним устаткуванням. Збірник матеріалів Десятої міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління», 9–10 квітня 2020 р., м. Баку – Харків – Жиліна. С. 68 (форма участі – заочна).

19. **Рашкевич Н. В.,** Колосков В. Ю. Техногенна небезпека полігонів твердих побутових відходів з технологічним устаткуванням. Збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених «Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту», 15–16 квітня 2020 р., м. Харків: НУЦЗ України. С. 8 (форма участі – очна).

Особисто здобувачем розглянуто умови облаштування ділянки складування твердих побутових відходів, технологій збору біогазу та виділені фактори виникнення техногенної небезпеки.

20. **Рашкевич Н. В.** Разработка лабораторной установки по проверке достоверности математического аппарата методики предупреждения чрезвычайных ситуаций на полигоне твердых бытовых отходов с технологической установкой. Збірник матеріалів VI Міжнародної заочної науково-практичної конференції

«Технологии ликвидации чрезвычайных ситуаций», 20 травня 2020 р., Республіка Білорусь, м. Мінськ: Університет цивільного захисту МНС Республіки Білорусь. С. 181–182 (форма участі – заочна).

21. **Рашкевич Н. В.** Попередження надзвичайних ситуацій на полігоні твердих побутових відходів з технологічним ліквідаційним енергоємним устаткуванням. Збірник матеріалів II Всеукраїнської наукової конференції присвяченої 100 річчю університету «Актуальні питання техногенної та цивільної безпеки України», 18–19 вересня 2020 р., м. Миколаїв. С. 25–29 (форма участі – заочна).

22. **Рашкевич Н. В.** Виділення природоохоронних заходів направлених на попередження надзвичайних ситуацій пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів. Збірник матеріалів XVII Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми екологічної безпеки», 06–08 жовтня 2020 р., м. Кременчук. С. 86–88 (форма участі – заочна).

23. **Рашкевич Н. В.** Стійкість схилу масиву відходів на полігоні твердих побутових відходів в задачах забезпечення цивільної безпеки. Збірник матеріалів XIII Науково-технічної конференції «Сучасний стан та проблемні питання страхового фонду документації, перспективи розвитку та взаємодії», 29–30 жовтня 2020 р., м. Харків. С. 66–67 (форма участі – заочна).

24. **Рашкевич Н. В.** Одна з умов ефективної реалізації процесу попередження надзвичайних ситуацій на полігонах твердих побутових відходів. Збірник матеріалів I Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції студентів та молодих науковців «Актуальні питання охорони праці у контексті сталого розвитку та європейської інтеграції України», 09–11 листопада 2020 р., м. Харків. С. 190–192.

25. **Рашкевич Н. В.** Роботи з попередження надзвичайних ситуацій на полігоні твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням. Збірник матеріалів XII Міжнародної науково-методичної конференції «Безпека людини у сучасних умовах», 03–04 грудня 2020 р., м. Харків. С. 25–29 (форма участі – заочна).

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

26. Вамболь В. В. Рашкевич А. С., **Рашкевич Н. В.** Анализ особенностей экологического мониторинга атмосферного воздуха в зоне чрезвычайных ситуаций техногенного характера. *Вісник Національного технічного університету «ХПИ»*. 2016. № 49 (1221). С. 85–89.

Особисто здобувачем проведено аналіз можливості організації дистанційного моніторингу атмосферного повітря в районах виникнення надзвичайних ситуацій за допомогою лазерного комплексу.

27. Vambol V., **Rashkevich N.** Analysis of methods of identification of ecologically danger substances in atmospheric air. *Техногенно-екологічна безпека: наук.-техн. журнал*. 2017. Вип. 2. С. 74–78. DOI: 10.5281/zenodo.1182894.

Особисто здобувачем проведено аналіз методів ідентифікації небезпечних речовин в атмосферному повітрі та визначені переваги лазерного моніторингу.

28. **Рашкевич Н. В.** Аналіз наукових досліджень в сфері лазерного зондування повітряного басейну. *Вісник КрНУ ім. Михайла Остроградського*. Вип. 5/2017 (106). С. 115–121.

29. **Рашкевич Н. В.**, Цитлішвілі К. О. Дослідження небезпеки продуктів розкладання в місцях депонування твердих побутових відходів. *Вісник КрНУ ім. Михайла Остроградського*. Вип. №3/2018(110). С. 97–102. DOI: 10.30929/1995-0519.2018.3.97-102.

Особисто здобувачем проведено експериментальні дослідження з визначення хімічного складу проб атмосферного повітря в зоні впливу типового полігону твердих побутових відходів та основних показників хімічного складу фільтраційних вод з дренажної каналі.

ABSTRACT

N. Rashkevich. Emergencies prevention at solid waste landfill with liquidation energy-intensive technological equipment. Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Thesis for a Doctor of Philosophy in specialty 263 – «Civil Safety» (26 – «Civil Safety»). National University of Civil Defence of Ukraine, State Emergency Service of Ukraine, Kharkiv, 2021.

The dissertation is devoted to solve the important scientific and practical issue in the civil safety field – to develop the methodology of emergencies prevention cascade type of dissemination concerned with landslide at solid waste landfill with liquidation energy-intensive technological equipment, aim to emergency prevention of escalating from the object to higher levels of danger. The implementation of the issue will protect civilians and specialists of State Emergency Service of Ukraine.

For achieving the set purpose the following scientific **tasks** have been put forward:

1. To analyze the current state of emergencies prevention at solid waste landfill with liquidation energy-intensive technological equipment.

2. To develop the mathematical model of emergencies prevention cascade type of dissemination related to landslide at solid waste landfill with liquidation energy-intensive technological equipment and develop the appropriate method based on it.

3. To check the validity of the developed mathematical model of emergencies prevention cascade type of dissemination related to landslide at solid waste landfill with liquidation of energy-intensive technological equipment and developed appropriate method based on it.

4. To propose the suggestions for implementation of the developed method of emergencies prevention cascade type of dissemination related to landslide at solid waste landfill with liquidation energy-intensive technological equipment.

For solving the set tasks the follow theoretical and experimental **research methods** have been used, such as analysis and synthesis, generalization,

mathematical modeling, probability theory, decision theory, mathematical statistics, field and laboratory methods of observation and measurement.

The **object of the research** is the process of emergencies prevention cascade type of dissemination related to landslide at solid waste landfill with liquidation energy-intensive technological equipment.

The **subject of the research** is the characteristics of the process of emergencies prevention cascade type of dissemination related to landslide at solid waste landfill with liquidation energy-intensive technological equipment that which are due to the physical properties of landfill soils, technological indicators of liquidation energy-intensive technological equipment.

The relevance of the chosen topic, the connection of research with scientific programs, plans, topics have been substantiated in the **research introduction**. It also has been formulated the purpose and objectives of research, defined the object, subject and methods of research, revealed the scientific novelty of the results and practical value of research, provided data on personal contribution of the applicant, approbation and publication of dissertation results, total volume.

In the **first section** « Analysis of the current state of emergencies prevention at solid waste landfills with liquidation energy-intensive technological equipment» it has been analyzed the technogenic hazards of solid waste landfills, taking into account current trends of the liquidation energy-intensive technological equipment location on that territories, approaches to modeling landfill conditions and approaches to emergencies prevention at these facilities. The follow task of scientific research to develop the methodology of emergencies prevention cascade type of dissemination related to landslide at solid waste landfill with liquidation energy-intensive technological equipment has been performed for the emergencies prevention from escalating from the object to higher levels of danger, the implementation of which will protect civilians and specialists of State Emergency Service of Ukraine.

In the **second section** «Development of a mathematical model of emergencies prevention cascade type of dissemination related to landslide at solid waste landfill with liquidation energy-intensive technological equipment and development of

appropriate methods based on it» the author has analyzed the physical conditions of emergencies prevention, has found solutions to certain issues for assessing humidity, density, temperature of landfills soils, and the level of danger of landslides depending on the technological parameters of liquidation-intensive technological equipment. This allowed to determine the conditions for solving particular problems that have been included in the general mathematical model. The mathematical model of emergencies prevention is the system of four analytical dependencies. The first analytical dependence describes the number of dead persons on the characteristics of the physical properties of landfill soils, such as humidity, density, temperature, and technological indicators of liquidation energy-intensive technological equipment. The second one describes the number of victims of the physical properties of landfill soils, such as humidity, density, temperature, and technological indicators of liquidation energy-intensive technological equipment. The third one describes the number of people with violations of living conditions from the characteristics of the physical properties of landfill soils, such as humidity, density, temperature, and technological indicators of liquidation energy-intensive technological equipment. The fourth analytical dependence allows to determine the conditions of absence of injured persons and victims as a consequence of the emergency situation of the first level of priority, depending on the variation of solutions of particular problems to assess the physical properties of landfills soils, and landslide hazards taking into account technological indicators of liquidation energy-intensive technological equipment. The condition for the mathematical model existence is the set of initial and boundary conditions, including the maximum amount of methane in the biogas and non-growth of the consequences of the emergency outside the object level of danger.

The method of emergencies prevention cascade type of dissemination related to landslide at solid waste landfill with liquidation energy-intensive technological equipment based on a mathematical model has been developed in the research. The method realization provides the groups of works before and after the fact of moving the landslide: related to the design and construction of the object; concerned with the facility operation; related with the localization and liquidation of the negative

consequences of the landslide; related with the elimination of the further landslides risk and stabilization of the facility.

The **third section** «Validation of the developed mathematical model of emergencies prevention cascade type of dissemination related to landslide at solid waste landfill with liquidation energy-intensive technological equipment and development of appropriate methods based on it» describes the developed laboratory setup and methods of experimental studies of the influence of the physical properties of the landfills soils on the slopes stability to landslide. Furthermore, using these installation and methods, the field experimental studies has been conducted, the results of which coincide with simulation results with a probability of 95% by Student's criterion. This confirms the reliability of the developed mathematical model of emergencies prevention cascade type of dissemination related to landslide at solid waste landfill with liquidation energy-intensive technological equipment and developed the appropriate methods based on it.

The **fourth section** «The proposals for developed method implementation of emergencies prevention cascade type of dissemination related to landslide at solid waste landfill with liquidation energy-intensive technological equipment» considers the conditions for effective implementation of the developed method of emergencies prevention cascade type of dissemination related to landslide at solid waste landfill with liquidation energy-intensive technological equipment. The proposals are follow: first, to identify hidden foci and ways of technogenic hazards spreading on landfills, which are based on the use of remote methods and monitoring means of air and landfills state, to ensure safe operation of emergency rescue units during the warning emergency directly at the object of their occurrence; secondly, conducting the atmospheric air analysis as the main source of hazardous substances transfer that allow allow at the expense of operational comprehensive sanitary and hygienic preventive measures to prevent the defeat of civilians living in the area of possible damage.

The **practical significance of the dissertation research results** of the is in the application of the developed mathematical model and method in the divisions of

the State Emergency Service of Ukraine of local and regional level of subordination. The main outcomes of the study were used in the pilot implementation in the Izyum district office of the Main Department of the State Emergency Service of Ukraine in Kharkiv region (act of implementation from 01.09.2020) and in the municipal enterprise «Improvement of the Izyum» (act of implementation from 09.09.2020) as part of the improvement of the decision support system by the head of prevention and elimination of the emergencies consequences at solid waste landfill with liquidation energy-intensive technological equipment.

The applicant has solved the important scientific and practical issue in the civil safety field – has developed the method of emergencies prevention cascade type of dissemination related to landslide at solid waste landfill with liquidation energy-intensive technological equipment, in the interests of emergency prevention from escalating from the object to higher levels of danger, the implementation of which will protect civilians and specialists of State Emergency Service of Ukraine.

Keywords: emergency prevention, solid waste landfill, liquidation energy-intensive technological equipment, landslide, landfill soils.

List of publications of degree-seeker

Publications in which the main scientific results of the dissertation are published:

Monograph:

1. **Rashkevich N.**, Honcharenko Yu., Vovchuk T. Part. 3.9. Prevention of emergency situations on potentially hazardous objects with excess energy intensive equipment in the context of solving the problem of increasing safety and quality of life in the modern world // Improving living standards: current opportunities and limitations. Monograph. Editors: Wojciech Duczmal, Iryna Ostopolets. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole. 2020. P. 369–379.

The applicant personally has conducted and processed the results of field and

laboratory studies to determine the physical and mechanical properties of landfill soils and their impact on the stability of slopes to landslides.

Articles in the scientific professional editions of Ukraine, which are part of international scientometric bases:

2. Vambol S., Vambol V., Bogdanov I., Suchikova Y., **Rashkevich N.** Research of the influence of decomposition of wastes of polymers with nano inclusions on the atmosphere. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. 6/10 (90). 57–64.

The applicant personally has processed the results of experiments to determine the concentration of toxic substances released during thermal decomposition of synthetic polymeric materials and substantiated the possibility of high-precision identification of gaseous substances in the atmosphere to identify the hidden danger in the solid waste landfill.

3. **Rashkevich N.**, Goncharenko I., Anishenko L. et al. Biogas from the municipal solid waste polygon. Scientific Journal «ScienceRise». 9(50)2018. 39–42.

The applicant personally has analyzed the existing mathematical models of movement of hazardous substances over the landfill, has formulated conclusions on the dependence of speed and radius of movement of heated buoyancy and has proposed the practical value of the model in civil safety to effective implementation the developed methodology to prevent emergencies decreasing the negative consequences of impact on the environment outside the object of their origin.

4. **Rashkevich N.** Analysis of technogenic danger of solid waste management technologies. Komunal'ne hospodarstvo mist. 2019. 6, 152. 58–66.

5. **Rashkevich N.** Formation of mathematical apparatu for the methodology of emergency prevention on solid waste landfill with technological equipment. Komunal'ne hospodarstvo mist. 2020. 1, 154. 100–107.

6. **Rashkevich N.** Development of the control algorithm of the methodology of emergency prevention on landfill with liquidation energy-intensive technological equipment. Komunal'ne hospodarstvo mist. 2020. 3, 156, 188–194.

7. Divizinyuk M., Mirnenko V., **Rashkevich N.**, Shevchenko O. 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. *Social Development and Security*. 2020. 10, 5. 15–27.

The applicant personally has developed the laboratory installation that allows to provide experimental researches of the influence of the physical properties of landfill soils on the stability of slopes to landslides, and the appropriate research method.

Articles in scientific professional publications of Ukraine:

8. **Rashkevich N.**, Cherepnev I., Kovalev I. Method of fire detecting at a municipal solid waste landfill. *Engineering of nature management*. 2019. 3(13). 102–109.

The applicant personally has proposed the method of detecting fires on the territory of the landfill for solid waste.

Patents:

9. Patent 128973 U, Ukraine, MIIK (2018.01) A62C 3/02, G01V 3/16 (2006/01), G01V 8/00. Method of detecting fires at landfills / Vambol S., Vambol V., Reznichenko A., Kondratenko O., Koloskov V. Yu., **Rashkevich N.**; patent holder: National University of Civil Defence of Ukraine. № 201805655; at 10.10.2018.

The applicant personally has analyzed the patent base for available methods of detecting fires at solid waste landfills and has proposed to use the microwave radiometry unit to determine the boundary, depth and temperature of the combustion zone, detection of voids and burns.

Conference materials and abstracts:

10. Rashkevich O., **Rashkevich N.**, Vambol V. Yssledovanye osobennostey lazernoho metoda dlya kontrolya atmosfernoho vozdukha v zone chrezvychnykh situatsyy. Zbirnyk materialiv Mizhnarodnoyi naukovopraktychnoyi konferentsiyi

«Problemy grazhdanskoj zashchity: upravleniye, preduprezhdeniye, avariyno spasatel'nyye i spetsial'nyye raboty», 17 March 2017, Respublika Kazakhstan, m. Kokshetau. 245–248. (Form of participation – extramural).

The applicant personally has analyzed the possibility of organizing remote of environmental monitoring of atmospheric air in areas of emergency with the help of the laser complex.

11. **Rashkevich N.** Vyyavlennya oznak nebezpeky pid chas ekspluatatsiyi polihoniv tverdykh pobutovykh vidkhodiv. Zbirnyk materialiv Mizhnarodnoyi naukovoji internet-konferentsiyi «Informatsiyne suspil'stvo: tekhnolohichni, ekonomichni ta tekhnichni aspekty stanovlennya» (Vypusk 24), 15 November 2017, m. Ternopil', 84–87. (Form of participation – extramural).

12. **Rashkevich N.** Obgruntuvannya pidvyshchennya tekhnohennokolohichnoji bezpeky polihoniv tverdykh pobutovykh vidkhodiv. Zbirnyk materialiv Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoji konferentsiyi molodykh uchenykh «Problemy ta perspektyvy zabezpechennya tsyvil'noho zakhystu», 28–29 March 2018, m. Kharkiv. 360. (Form of participation – intramural).

13. Koloskov V. Yu., **Rashkevich N.** Identyfikatsiya nebezpeky mist' vydalennya tverdykh pobutovykh vidkhodiv. Zbirnyk materialiv 21 Vseukrayins'koyi naukovo-praktychnoji konferentsiyi «Rozvytok tsyvil'noho zakhystu v suchasnykh bezpekovykh umovakh», 8 October 2019, m. Kyiv. 130–132. (Form of participation – extramural).

The applicant personally has considered possible emergencies at the solid waste landfill.

14. **Rashkevich N.** Aktual'nist' pytannya poperedzhennya nadzvychajnoji sytuatsiyi na komunikatsiyi abo tekhnolohichnomu ustatkovanni polihonu tverdykh pobutovykh vidkhodiv. Zbirnyk materialiv S'omoyi mizhnarodnoyi naukovo-tekhnichnoji konferentsiyi «Problemy informatyzatsiyi», 13–15 November 2019, m. Cherkasy–Baku–Bel's'ko-Byala–Kharkiv. 77. (Form of participation – extramural).

15. **Rashkevich N.** Tekhnohennaya opasnost' na polyhonakh tverdykh bytovykh otkhodov s tekhnolohycheskym oborudovanyem. Postanovka zadach

yssledovanyya. Zbirnyk materialiv III Mizhnarodnoyi zaochnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi «Bezopasnost' cheloveka y obshchestva: sovershenstvovanye systemy reahyrovanyya y upravlenyya zashchytoy ot chrezvychaynykh sytuatsyy», 29 November 2019, Respublika Bilorus', m. Mins'k. 71–73. (Form of participation – extramural).

16. **Rashkevich N.** Nadzvychayni sytuatsiyi na polihoni tverdykh pobutovykh vidkhodiv z tekhnolohichnym ustatkuvannyam. Zbirnyk materialiv XV Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi molodykh vchenykh, kursantiv ta studentiv «Problemy ta perspektyvy rozvytku systemy bezpeky zhyttyediyal'nosti», 26–27 March 2020, m. L'viv. 471–473. (Form of participation – extramural).

17. **Rashkevich N.** Hranychnye uslovyya preduprezhdenyya chrezvychaynoy sytuatsyy na polyhone tverdykh bytovykh otkhodov s tekhnolohycheskym oborudovanyem. Zbirnyk materialiv XIV Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi molodykh uchenykh «Obespechenye bezopasnosti: problemy y perspektyvy», 8–9 April 2020, Respublika Bilorus', m. Mins'k. 126–127. (Form of participation – extramural).

18. **Rashkevich N.** Rozrobka matematychnoyi osnovy poperedzhennya nadzvychaynoy sytuatsiyi na polihoni tverdykh pobutovykh vidkhodiv z tekhnolohichnym ustatkuvannyam. Zbirnyk materialiv Desyatoyi mizhnarodnoyi naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi «Suchasni napryamy rozvytku informatsiyno-komunikatsiynykh tekhnolohiy ta zasobiv upravlinnya», 9–10 April 2020, m. Baku – Kharkiv – Zhylina. 68. (Form of participation – extramural).

19. **Rashkevich N., Koloskov V. Yu.** Analiz tekhnohennoyi nebezpeky polihoniv tverdykh pobutovykh vidkhodiv z tekhnolohichnym ustatkuvannyam. Zbirnyk materialiv Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi molodykh uchenykh «Problemy ta perspektyvy zabezpechennya tsyvil'noho zakhystu», 15–16 April 2020 r., m. Kharkiv. 7. (Form of participation – intramural).

The applicant personally has considered the conditions of arrangement of the solid waste storage area, biogas collection technologies and identified the factors of technogenic hazards.

20. **Rashkevich N.** Razrabotka laboratornoy ustanovky po proverke dostovernosti matematycheskoho apparata metodyky preduprezhdenyya chrezvychnykh sytuatsiy na polyhone tverdykh bytovykh otkhodov s tekhnolohycheskoy ustanovkoy. Zbirnyk materialiv VI Mizhnarodnoyi zaochnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi «Tekhnolohyy lykvydatsyy chrezvychnykh situatsiy», 20 May 2020, Respublika Bilorus', m. Mins'k. 181–182. (Form of participation – extramural).

23. **Rashkevich N.** Stiykist' skhylyu masyvu vidkhodiv na polihoni tverdykh pobutovykh vidkhodiv v zadachakh zabezpechennya tsyvil'noyi bezpeky. Zbirnyk materialiv XIII Naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi «Suchasnyy stan ta problemni pytannya strakhovoho fondu dokumentatsiyi, perspektyvy rozvytku ta vzayemodiyi», 14-15 May 2020, m. Kharkiv. 66–67. (Form of participation – extramural).

21. **Rashkevich N.** Poperedzhennya nadzvychnykh situatsiy na polihoni tverdykh pobutovykh vidkhodiv z tekhnolohichnym likvidatsiynym enerhoyemnym ustatkuvanniam. Zbirnyk materialiv II Vseukrayins'koyi naukovoyi konferentsiyi prysvyachenoyi 100 richchyu universytetu «Aktual'ni pytannya tekhnohennoyi ta tsyvil'noyi bezpeky Ukrayiny», 18–19 September 2020 r., m. Mykolayiv. 25–29. (Form of participation – extramural).

22. **Rashkevich N.** Vydilennya pryrodookhoronnykh zakhodiv napravlenykh na poperedzhennya nadzvychnykh situatsiy pov'yazanykh zi zsumom zvalyshchnykh hruntiv. Zbirnyk materialiv XVII Mizhnarodnoyi naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi «Problemy ekolohichnoyi bezpeky», 06–08 October 2020 r., m. Kremenchuk. 86–88. (Form of participation – extramural).

24. **Rashkevich N.** Odna z umov efektyvnoyi realizatsiyi protsesu poperedzhennya nadzvychnykh situatsiy na polihonakh tverdykh pobutovykh vidkhodiv. Zbirnyk materialiv I Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi internet-konferentsiyi studentiv ta molodykh naukovtsiv «Aktual'ni pytannya okhorony pratsi u konteksti staloho rozvytku ta yevropeys'koyi intehratsiyi Ukrayiny», 09–11 November 2020 r., m. Kharkiv. 190–192.

25. **Rashkevich N.** Roboty z poperedzhennya nadzvychnykh situatsiy na

polihoni tverdykh pobutovykh vidkhodiv z likvidatsiynym enerhoyemnym tekhnolohichnym ustatkuvannyam. Zbirnyk materialiv KHII Mizhnarodnoyi naukovo-metodychnoyi konferentsiyi «Bezpeka lyudyny u suchasnykh umovakh», 03–04 December 2020 r., m. Kharkiv. 25–29 (Form of participation – extramural).

Scientific works, which additionally reflect the scientific results of the dissertation:

26. Vambol V., Rashkevich O., **Rashkevich N.** An analysis of features of the ecological monitoring of atmospheric air in the zone of emergencies of technogenic character. *Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu «KHPI»*. 2016. 49(1221). 85–89.

The applicant personally has analyzed the possibility of organizing remote of environmental monitoring of atmospheric air in areas of emergency with the help of a laser complex.

27. Vambol V., **Rashkevich N.** Analysis of methods of identification of ecologically danger substances in atmospheric air. *Naukovo-tekhnichnyy zhurnal «Tekhnohenno-ekolohichna bezpeka»*. 2017. 2. 74–78.

The applicant personally has analyzed the methods of identification of environmentally hazardous substances in the air and has identified the benefits of laser monitoring such as mobility and high accuracy.

28. **Rashkevich N.** Analysis of scientific researches in the field of laser diagnostic of atmosphere. *Visnyk KrNU im. Mykhayla Ostrohrads'koho*. 2017. 5/2017 (106). 115–121.

29. **Rashkevich N.**, Tsytlshvili K. Study of influences of dangerous products decomposition from municipal solid waste. *Visnyk KrNU im. Mykhayla Ostrohrads'koho*. 2018. 3/2018(110). 97–102.

The applicant personally has processed the results of experimental researches of the chemical composition of atmospheric air samples in the area of influence of the typical landfill for solid waste and the main indicators of the chemical composition of filtration water from the drainage ditch.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....	2
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	29
ВСТУП.....	30
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПОПЕРЕДЖЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ НА ПОЛІГОНАХ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ З ЛІКВІДАЦІЙНИМ ЕНЕРГОЄМНИМ ТЕХНОЛОГІЧНИМ УСТАТКУВАННЯМ.....	38
1.1. Аналіз техногенної небезпеки полігонів твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням.....	38
1.2. Аналіз підходів до моделювання умов функціонування полігонів твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням.....	45
1.3. Аналіз підходів до попередження надзвичайних ситуацій на полігонах твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням.....	49
1.4. Постановка задачі наукового дослідження.....	54
Висновки по першому розділу.....	56
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПОПЕРЕДЖЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ КАСКАДНОГО ТИПУ ПОШИРЕННЯ, ПОВ'ЯЗАНИХ ЗІ ЗСУВОМ ЗВАЛИЩНИХ ҐРУНТІВ НА ПОЛІГОНІ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ З ЛІКВІДАЦІЙНИМ ЕНЕРГОЄМНИМ ТЕХНОЛОГІЧНИМ УСТАТКУВАННЯМ ТА РОЗРОБКА НА ЇЇ ОСНОВІ ВІДПОВІДНОЇ МЕТОДИКИ.....	57
2.1. Математична модель попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів на полігоні твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням.....	57
2.1.1. Фізичні умови формування математичної моделі.....	57

2.1.2. Рішення окремої задачі з оцінки вологості звалищних ґрунтів.....	70
2.1.3. Рішення окремої задачі з оцінки щільності звалищних ґрунтів.....	75
2.1.4. Рішення окремої задачі з оцінки температури звалищних ґрунтів...	80
2.1.5. Рішення окремої задачі з оцінки небезпеки зсувного масиву звалищних ґрунтів.....	82
2.1.6. Опис розробленої математичної моделі попередження надзвичайних з урахуванням наявного ліквідаційного енергоємного технологічного устаткування.....	87
2.2. Методика попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів на полігоні твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням.....	91
Висновки по другому розділу.....	102
РОЗДІЛ 3. ПЕРЕВІРКА ДОСТОВІРНОСТІ РОЗРОБЛЕНОЇ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПОПЕРЕДЖЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ КАСКАДНОГО ТИПУ ПОШИРЕННЯ, ПОВ'ЯЗАНИХ ЗІ ЗСУВОМ ЗВАЛИЩНИХ ҐРУНТІВ НА ПОЛІГОНІ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ З ЛІКВІДАЦІЙНИМ ЕНЕРГОЄМНИМ ТЕХНОЛОГІЧНИМ УСТАТКУВАННЯМ ТА РОЗРОБЛЕНОЇ НА ЇЇ ОСНОВІ ВІДПОВІДНОЇ МЕТОДИКИ.....	104
3.1. Лабораторна установка та методика проведення експериментальних досліджень впливу фізичних властивостей звалищних ґрунтів на стійкість схилів	104
3.1.1. Опис лабораторної установки та допоміжного устаткування.....	105
3.1.2. Методика проведення експериментальних досліджень.....	108
3.2. Експериментальні дослідження впливу фізичних властивостей звалищних ґрунтів на стійкість схилів	119
3.3. Результати з перевірки достовірності розробленої математичної моделі та розробленої на її основі відповідної методики попередження надзвичайних ситуацій.....	129
Висновки по третьому розділу.....	134

РОЗДІЛ 4. ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО РЕАЛІЗАЦІЇ РОЗРОБЛЕНОЇ МЕТОДИКИ ПОПЕРЕДЖЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ КАСКАДНОГО ТИПУ ПОШИРЕННЯ, ПОВ'ЯЗАНИХ ЗІ ЗСУВОМ ЗВАЛИЩНИХ ҐРУНТІВ НА ПОЛІГОНІ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ З ЛІКВІДАЦІЙНИМ ЕНЕРГОЄМНИМ ТЕХНОЛОГІЧНИМ УСТАТКУВАННЯМ.....	135
4.1. Забезпечення безпечних умов функціонування аварійно-рятувальних підрозділів під час попередження надзвичайних ситуацій.....	135
4.1.1. Виявлення осередків прихованої техногенної небезпеки за результатами спостереження стану атмосферного повітря.....	135
4.1.2. Виявлення прихованих шляхів поширення техногенної небезпеки за результатами спостереження стану атмосферного повітря, звалищних ґрунтів.....	145
4.2. Зменшення наслідків впливу надзвичайних ситуацій за межами об'єкту їх виникнення на довкілля та населення.....	150
Висновки по четвертому розділу.....	159
ВИСНОВКИ.....	160
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	163
Додаток А.....	192
Додаток Б.....	201

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АРІНР	аварійно-рятувальні та інші невідкладні роботи
БПЛА	безпілотний літальний апарат
ГДК	гранично допустима концентрація
ГІС	географічні інформаційні системи
ГОСТ	Государственный стандарт
ДБН	Державні будівельні норми
ДК	Державний класифікатор
ДСНС України	Державна служба України з надзвичайних ситуацій
ДСТУ	Державний стандарт України
ЛЕТУ	ліквідаційне енергоємне технологічне устаткування
МВС України	Міністерство внутрішніх справ України
НС	надзвичайна ситуація
ОНД	Общесоюзный нормативный документ
ОРС ЦЗ	Оперативно-рятувальна служба цивільного захисту
СЗЗ	санітарно-захисна зона
СНД	Співдружність незалежних держав
США	Сполучені Штати Америки
ТПВ	тверді побутові відходи
EMCON	Emission Control
CAS	Conditional Access System
CTIF	The International Technical Committee for the Prevention and Extinction of Fire
GPS	Global Positioning System
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
LandGEM	Landfill Gas Emissions Model
LIDAR	Light Detection and Ranging
LR	Logistic Regression
LSM	Log-structured Merge
SAR	Specific Absorption Rate
SSM	Soft Systems Methodology

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження. Поводження з твердими побутовими відходами є не тільки однією з найгостріших природничих проблем суспільства, але й становить актуальну проблему забезпечення цивільної безпеки. На полігонах твердих побутових відходів (або звалищах), що є найбільш розповсюдженим способом поводження з відходами, відомі чисельні випадки небезпечних подій, надзвичайних ситуацій пов'язаних з пожежами, зсувами великих мас відходів (звалищних ґрунтів). До основних наслідків небезпеки належать як забруднення компонентів довкілля, значна площа їх поширення, так й значна кількість загиблих, постраждалих, осіб з порушенням умов життєдіяльності, скорочення значень яких є пріоритетним напрямком в діяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій.

В рамках вирішення ряду природоохоронних проблем у світі спостерігається тенденція до реконструкції полігонів або будівництво нових об'єктів захоронення з урахуванням розміщення на їх територіях ліквідаційного енергоємного технологічного устаткування. Ліквідаційне енергоємне технологічне устаткування додатково становить техногенну небезпеку виникнення та (або) поширення надзвичайних ситуацій унаслідок пожежі, вибуху біогазу.

Не зважаючи на різноплановість проведення наукових досліджень у сфері попередження надзвичайних ситуацій та пожеж на полігонах твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням, на сьогодні відсутня єдина математична база та відповідна методика, яка комплексно визначає процес попередження надзвичайних ситуацій. Таким чином, актуальності та практичної значимості набуває задача з розробки методики попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів на полігоні твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням, в інтересах

недопущення переростання надзвичайної ситуації з об'єктового на більш високі рівні поширення небезпеки, реалізація якої дозволить захистити від ураження цивільних осіб та фахівців підрозділів Державної служби України з надзвичайних ситуацій.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Роботу виконано в рамках «Стратегії реформування системи Державної служби з надзвичайних ситуацій», схваленої Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 25 січня 2017 р. № 61-р., «Концепції управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру», схваленої Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 22 січня 2014 р. № 37-р, «Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року», схваленої Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 р. № 820-р, а також науково-дослідних робіт «Удосконалення методу ідентифікації джерела формування екологічної небезпеки, що призводить до хімічного забруднення атмосфери» (№ ДР 0118U00100), «Експрес-аналіз природної води як складова ідентифікації надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру» (№ ДР 0119U001005), в яких здобувач брав участь як виконавець.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є розробка методики попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів на полігоні твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням, в інтересах недопущення переростання надзвичайної ситуації з об'єктового на більш високі рівні поширення небезпеки, реалізація якої дозволить захистити від ураження цивільних осіб та фахівців підрозділів Державної служби України з надзвичайних ситуацій.

Для досягнення поставленої мети було передбачено вирішення наступних задач:

1. Провести аналіз сучасного стану попередження надзвичайних ситуацій на полігоні твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням.

2. Розробити математичну модель попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів на полігоні твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням та розробити на її основі відповідну методичку.

3. Перевірити достовірність розробленої математичної моделі попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів на полігоні твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням та розробленої на її основі відповідної методики.

4. Запропонувати пропозиції щодо реалізації розробленої методики попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів на полігоні твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням.

Об'єкт дослідження – процес попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів на полігоні твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням.

Предмет дослідження – параметри процесу попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів на полігоні твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням, які обумовлені фізичними властивостями звалищних ґрунтів, технологічними показниками ліквідаційного енергоємного технологічного устаткування.

Методи дослідження. У дисертаційній роботі під час вирішення поставлених наукових задач комплексно використовувалися теоретичні та експериментальні методи досліджень: аналізу та синтезу, узагальнення, математичного моделювання, теорії ймовірностей, теорії прийняття рішень, математичної статистики, польові та лабораторні методи спостереження та виміру.

Наукова новизна отриманих результатів. У дисертаційній роботі вирішено важливу науково-практичну задачу у сфері цивільної безпеки – розроблено методичку попередження надзвичайних ситуацій попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів на полігоні твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням, в інтересах недопущення переростання надзвичайної ситуації з об'єктового на більш високі рівні поширення небезпеки, реалізація якої дозволить захистити від ураження цивільних осіб та фахівців підрозділів Державної служби України з надзвичайних ситуацій.

Вперше отримані наступні наукові результати:

1. Розроблено математичну модель попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів на полігоні твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням, що уявляє собою систему з чотирьох аналітичних залежностей. Перша аналітична залежність описує залежність кількості загиблих осіб від фізичних властивостей звалищних ґрунтів, як-то вологість, щільність, температура, та технологічних показників ліквідаційного енергоємного технологічного устаткування. Друга описує залежність кількості постраждалих від фізичних властивостей звалищних ґрунтів, як-то вологість, щільність, температура, та технологічних показників ліквідаційного енергоємного технологічного устаткування. Третя описує залежність кількості осіб з порушенням умов життєдіяльності від фізичних властивостей звалищних ґрунтів, як-то вологість, щільність, температура, та технологічних показників ліквідаційного енергоємного технологічного устаткування. Четверта дозволяє визначити умови відсутності постраждалих та жертв, як наслідків надзвичайної ситуації першого рівня пріоритетності, в залежності від варіації рішень окремих задач з оцінки фізичних властивостей звалищних ґрунтів, та небезпеки зсувного масиву з урахуванням технологічних показників ліквідаційного енергоємного технологічного устаткування. Умовою існування наведеної

математичної моделі є набір початкових та граничних умов не переростання наслідків надзвичайної ситуації за межі об'єктового рівня поширення небезпеки з урахуванням отримання максимальної кількості метану у складі біогазу.

2. Розроблено методику попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів на полігоні твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням, яка передбачає виконання груп робіт до та після факту переміщення зсувного масиву, а саме: пов'язаних з проектуванням та будівництвом об'єкту; пов'язаних з експлуатацією об'єкту; пов'язаних з локалізацією та ліквідацією негативних наслідків зсуву; пов'язаних з усуненням небезпеки подальшого зсуву та стабілізацією роботи об'єкту.

3. Розроблено експериментальну лабораторну установку, що дозволяє провести дослідження впливу фізичних властивостей звалищних ґрунтів на стійкість схилів та перевірити достовірність розробленої математичної моделі попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів на полігоні твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням та розробленої на її основі відповідної методики.

Практичне значення отриманих результатів дисертаційного дослідження полягає у застосуванні розроблених математичної моделі та методики в підрозділах Державної служби України з надзвичайних ситуацій місцевого та регіонального рівня підпорядкованості. Основні результати дослідження використані в рамках пілотного впровадження в Ізюмському районному відділі Головного управління Державної служби України з надзвичайних ситуацій у Харківській області (акт впровадження від 01.09.2020 року) та у комунальному підприємстві «Благоустрій міста Ізюм» (акт впровадження від 09.09.2020 року) в рамках удосконалення системи підтримки прийняття рішення керівником робіт з попередження та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій на полігоні твердих побутових відходів з ліквідаційним

енергоємним технологічним устаткуванням.

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати дисертаційної роботи отримані автором особисто і наведені в роботах, які представлені у додатку А.

Особисто здобувачем проведений пошук та аналіз даних літературних та інформаційних джерел щодо техногенної небезпеки полігонів твердих побутових з урахуванням сучасних тенденцій розміщення на їх території ліквідаційного енергоємного технологічного устаткування, існуючих підходів до моделювання умов їх функціонування, та підходів до попередження надзвичайних ситуацій на зазначених об'єктах. Сформульовано мету і завдання досліджень, проведені комплекс польових та лабораторних досліджень, оброблені їх результати, розроблені пропозиції.

Особисто здобувачем розроблено:

– математичну модель попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів на полігоні твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням;

– методику попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів на полігоні твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням;

– лабораторну установку, що дозволяє провести експериментальні дослідження впливу фізичних властивостей звалищних ґрунтів на стійкість схилів та перевірити достовірність розробленої математичної моделі попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів на полігоні твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням та розробленої на її основі відповідної методики.

Апробація матеріалів дисертації. Основні положення та результати дисертаційної роботи висвітлені та обговорені на наукових конференціях:

Міжнародній науково-практичній конференції «Проблемы гражданской защиты: управление, предупреждение, аварийно спасательные и специальные работы» (17 березня 2017 р., м. Кокшетау, Республіка Казахстан), Міжнародній науковій інтернет-конференції «Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення» (15 листопада 2017 р., м. Тернопіль), Міжнародних науково-практичних конференціях молодих учених «Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту» (28–29 березня 2018 р., 15–16 квітня 2020 р. м. Харків), 21 Всеукраїнській науково-практичній конференції «Розвиток цивільного захисту в сучасних безпекових умовах» (8 жовтня 2019 р., м. Київ), Сьомій міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми інформатизації» (13–15 листопада 2019 р., м. Черкаси-Баку-Бельсько-Бяла-Харків), III Міжнародній заочній науково-практичній конференції «Безопасность человека и общества: совершенствование системы реагирования и управления защитой от чрезвычайных ситуаций» (29 листопада 2019 р., м. Мінськ, Республіка Білорусь), XV Міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених, курсантів та студентів «Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності» (26–27 березня 2020 р., м. Львів), XIV Міжнародній науково-практичній конференції молодих учених: курсантів (студентів), слухачів магістратури і ад'юнктів (аспірантів) «Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы» (8–9 квітня 2020 р., м. Мінськ, Республіка Білорусь), Десятій міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління» (9–10 квітня 2020 р., м. Баку – Харків – Жиліна), VI Міжнародній заочній науково-практичній конференції «Технологии ликвидации чрезвычайных ситуаций» (20 травня 2020 р., м. Мінськ, Республіка Білорусь), II Всеукраїнській науковій конференції присвяченій 100 річчю університету «Актуальні питання техногенної та цивільної безпеки України» (18–19 вересня 2020 р., м. Миколаїв), XVII Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми екологічної безпеки» (06-08 жовтня 2020 р., м. Кременчук), XIII Науково-технічній конференції «Сучасний стан та

проблемні питання страхового фонду документації, перспективи розвитку та взаємодії» (29–30 жовтня 2020 р., м. Харків), I Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції студентів та молодих науковців «Актуальні питання охорони праці у контексті сталого розвитку та європейської інтеграції України» (09–11 листопада 2020 р., м. Харків), V Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні проблеми забезпечення якості життя в глобалізованому світі» (11–12 листопада 2020 р., Польща–Україна–Словаччина), XII Міжнародній науково-методичній конференції «Безпека людини у сучасних умовах» (03–04 грудня 2020 р., м. Харків).

Публікації. Основні положення дисертації опубліковано у 25 наукових працях (розділ монографії, 7 статей у наукових фахових виданнях України: 5 статей у виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз Index Copernicus і Ulrich's Periodicals Directory, 1 стаття – у виданні, яке входить до міжнародної наукометричної бази Scopus та 16 тез доповідей на конференціях, 1 патент на корисну модель. Додаткові наукові результати опубліковані у 4 наукових статтях.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота загальним обсягом 203 сторінки складається з анотації, змісту, переліку умовних позначень, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 253 найменувань і 2 додатків. Робота містить 40 рисунків, з них 1 рисунок на окремій сторінці, та 13 таблиць.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПОПЕРЕДЖЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ НА ПОЛІГОНАХ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ З ЛІКВІДАЦІЙНИМ ЕНЕРГОЄМНИМ ТЕХНОЛОГІЧНИМ УСТАТКУВАННЯМ

Вирішувати першу задачу наукових досліджень будемо наступним чином: по-перше, проведемо аналіз техногенної небезпеки полігонів твердих побутових відходів з урахуванням сучасних технологій поводження з відходами; по-друге, проаналізуємо підходи до моделювання умов функціонування полігонів твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням; по-третє, проаналізуємо підходи до попередження надзвичайних ситуацій на полігонах твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням; по-четверте, на підставі наведеного аналізу сформулюємо основну задачу наукового дослідження.

1.1. Аналіз техногенної небезпеки полігонів твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням

Обсяги утворення твердих побутових відходів (ТПВ) у світі з кожним роком зростають [1–3], а їх склад з огляду на регіональні та часові особливості постійно зазнає суттєвих змін [4]. Національний коефіцієнт утворення відходів для різних країн коливається в широких межах: від 0,11 до 4,54 кг/день на душу населення. Найбільшою категорією відходів є харчові та зелені відходи понад

44 % від загальних обсягів відходів, сухі вторинні матеріали (пластик, папір, картон, метал, скло та ін.) – близько 38 % [1].

Відповідно питання поводження з ТПВ є актуальним у всьому світі. Уряд та населення кожної країни дотримується свого власного напрямку політики поводження з ТПВ: починаючи зі зведення до мінімуму їх утворення та закінчуючи «безпечним» видаленням на полігони або звалища з використанням ліквідаційного енергоємного технологічного устаткування (ЛЕТУ).

Поводження з відходами – це складний сектор, оскільки він попре законодавчі, екологічні, економічні та містобудівні аспекти включає безпекові аспекти техногенного характеру [5].

За кінцевою метою методи поводження з ТПВ поділяються на ліквідаційні та утилізаційні, а за технологічним принципом – на біологічні, термічні, хімічні, механічні, змішані [6]. Найбільшого поширення набули: захоронення на полігонах або звалищах (ліквідаційний біомеханічний); спалювання (ліквідаційний термічний); компостування та анаеробне зброджування (утилізаційні біологічні) [6–8].

У всьому світі близько 37 % відходів утилізують на полігонах, 33 % відкрито скидають, 19 % підлягають регенерації матеріалів шляхом переробки та компостування, а 11 % – спалюються [1–3].

На сьогодні, попри зусиль зі скорочення утворення ТПВ, найбільш поширеною стратегією управління відходами є захоронення, що і надалі очікується завдяки підходу країн, що розвиваються, до переходу від відкритого захоронення на звалищах до полігонного. Уряд країн, що розвиваються, беруть сценарії управління відходами в розвинених країнах за основу, незважаючи на їх придатність для конкретного середовища [9, 10]. Більшість проектів належним чином не враховують їх техногенні, соціальні, економічні та екологічні наслідки.

З огляду на те, що захоронення на звалищах є більш простим та менш затратним способом [11, 5], з кожним роком площі полігонів та звалищ

збільшуються [1], наближаються до населених пунктів, де людина є як джерелом антропогенної небезпеки, так і водночас – об'єктом захисту.

Аналіз робіт [1, 6, 12] показав, що технології поводження з відходами мають свої особливості, які впливають на рівень техногенної небезпеки за такими категоріям, як технологія процесів; технічна складність; сировина, яка використовується; продукція, яку отримують під час застосування ліквідаційних технологій; потужність об'єкту. На території полігонів протікають важко контрольовані процеси, що пов'язанні з анаеробним розкладанням, компостуванням та неконтрольованим горіння відходів, продуктів розкладу біомаси. Тому дані об'єкти заслуговують на підвищену увагу щодо попередження надзвичайних ситуацій (НС).

ТПВ являють собою гетерогенну суміш, в якій присутні майже всі хімічні елементи у вигляді різних сполук [13–15]. Дослідження [16] показали, що від 60 до 70% всіх муніципальних відходів складають горючі відходи. Найбільш розповсюдженими, водночас значимими елементами теплотворної спроможності, є вуглець, водень та кисень [17, 18]. ТПВ в місцях видалення під впливом атмосферного повітря, вологи, ґрунтів і, взаємодіючи один з одним, піддаються складним фізичним, хімічним, біохімічним процесам з виділенням небезпечних речовин як в рідкому – фільтраційні води, так й в газоподібному стані – звалищний газ (біогаз).

Основними компонентами біогазу є метан (в середньому до 60 %) діоксид вуглецю, домішки азоту, сірководню, кисню, водню та ін. гази [19–21]. Так теплотворна здатність біогазу – 18–25 МДж/м³. Межі вибухонебезпечності суміші біогазу з повітрям – 5–15% [19]. Якісний та кількісний склад біогазу індивідуальні для кожного полігону (температура в межах 30–40 °С, вологість в межах 60–80 % [22, 23]) і залежать від ряду факторів. В роботах [24, 25] наведено оптимальний діапазон температур максимального утворення горючого газу метану у складі біогазу, який складає 35–40 °С для мезофільної активності та 50–65 °С для термофільної активності. У дослідженні [26] вміст

метану за таких умов склав 65,6%, 66,2%, 67,4% та 58,9% при температурах 40, 45, 50 та 55 °С відповідно.

З огляду на вищезазначене, до складу ТПВ входять компоненти, які здатні горіти та підтримувати горіння, а продукти розкладання вибухати, що становить небезпеку виникнення та поширення НС.

З кожним роком зростає інтерес до ТПВ як альтернативного джерела енергії, а саме – біогазу [27]. Біогаз можливо використовувати в різних формах: виробництво електроенергії, тепла, палива для енергоустановок [28, 29], збагачення до якісного природного газу [30, 31]. З погляду на аналіз [12, 30] самим розповсюдженим способом утилізації біогазу є виробництво електроенергії. Існує два основних методів отримання енергії з ТПВ: перший відомий як перетворення звалищнього газу в енергію, а другий має назву – «відходи в енергію» [32]. Виходячи з цього полігон ТПВ може бути як постачальником [29], так й користувачем енергії [30, 33].

Масив ТПВ являю собою ділянку складування з комунікаціями збору біогазу. Конструкція комунікацій залежить від очікувальної кількості біогазу, типу та глибини масиву відходів, місцевих умов та статусу полігону (відкритий, закритий), а також цілей проекту збору біогазу [12, 30]. З масиву газ відводиться через газові свердловини. Газозбірні трубопроводи забезпечують зв'язок газових свердловин з колектором газозбірної станції. Для з'єднання газозбірної станції з газокompресорною станцією передбачений газотранспортний трубопровід. Газокompресорна станція здійснює постійний відрегульований збір і транспортування біогазу з полігону через газопровід високого тиску з необхідним тиском на вході до установки генерації енергії [12, 29]. Технологічне устаткування характеризується вразливістю до дії факторів безпеки [34].

Підвищену увагу, з погляду техногенної безпеки полігону ТПВ, привертають до себе питання біологічного розкладання та розвитку напружено-деформованого стану. ТПВ в результаті розкладання за своїм складом та властивостями все схожі на техногенні ґрунти [35]. Від так полігон ТПВ є геологічним об'єктом, який може перебувати у нестабільному стані. Це

потребує вирішення комплексу інженерних безпекових завдань при будівництві та експлуатації даних об'єктів [36].

ТПВ багатокomпонентну систему до складу якої входять тверда, рідка та газоподібна фази. Об'ємні співвідношення між фазами у часі та просторі змінюються, що істотно впливає на стійкість схилів на зсув. Техногенним, а саме звалищним ґрунтам характерні основні закономірності механіки ґрунтів [37] що обумовлені деформаційними властивостями, властивостями міцності, водопроникністю [38, 39]. За результатами досліджень [40, 41] ТПВ ідентифіковані як армоґрунтоподібний матеріал, до якого можна застосувати закономірності механіки ґрунтів. Частка звалищних ґрунтів на об'єктах поховання, вік яких перевищує 15 років, становить понад 50% і досягає 80–85% на об'єктах старше 30 років [42].

Враховуючи загальносвітові правові тенденції та їх проекцію на державу [43, 44], слід зазначити, що сьогодні в Україні ряд полігонів ТПВ офіційно становлять потенційну небезпеку виникнення НС за ознакою пожежна, вибухова, біологічна, хімічна небезпеки та віднесені до Державного реєстру потенційно небезпечних об'єктів. На підставі наказу МВС України від 06.08.2018 № 658 «Про затвердження Класифікаційних ознак надзвичайних ситуацій» та Національного класифікатора України ДК 019:2010 «Класифікатор надзвичайних ситуацій» на полігонах ТПВ з ЛЕТУ існує ймовірність виникнення НС: за кодом 10211 унаслідок пожежі, вибуху у споруді, на комунікації або технологічному устаткуванні промислового об'єкта; за кодом 10220 унаслідок пожежі, вибуху на об'єкті розвідування видобування, перероблення, транспортування чи зберігання легкозаймистих, горючих, а також вибухових речовин та за кодом 20220 пов'язаної зі зсувом [45, 46].

Загальносвітові тенденції щодо наявності техногенної небезпеки на полігонах ТПВ підтверджує і статистика НС та пожеж що мали місце [47, 48]. Так за даними Міжнародного технічного комітету із запобігання і гасіння пожеж (СТІФ), – близько 8,9 % усіх пожеж, розглянутих у 20 державах Європи (у тому числі й в Україні), припадає на сміття, звалища. Однак, необхідно

вказати, що правила обліку пожеж в різних державах відрізняються. Наприклад, в країнах СНД події виникнення та ліквідації пожеж в місцях видалення ТПВ окремому обліку не підлягають [49, 50].

Так, основними факторами, що викликають горіння відходів на полігонах, є (в порядку значимості): відсутність щоденного покриття; відсутність системи дегазації полігону; порушення технології ущільнення; підпал; екзотермічні реакції. Менший вплив чинять: високий вміст органіки у відходах; екскавація в процесі експлуатації полігону; відсутність системи моніторингу на полігоні; порушення остаточного покриття; невідповідність технологічного обладнання; атмосферні умови; порушення техніки безпеки; несправність технологічного обладнання; недбалість; неухважність [51]. Горіння ТПВ відбувається не лише на поверхні місць видалення, а й у глибині мас накопиченого сміття. Внаслідок вигорання відходів утворюються пустоти, які є причиною виникнення провалля масиву відходів з травматичними наслідками для особового складу аварійно-рятувальних підрозділів задіяних в ліквідації НС. Подальше вигорання відходів призводить до зниження їхньої міцності, що за умови накопичення великих обсягів води через зливи, а також при використанні рідини для гасіння пожеж, викликає катастрофічні зсуви [52].

Основні наслідки техногенної небезпеки на полігонах ТПВ є: значна площа поширення НС та пожежі, велика кількість постраждалих та осіб з порушенням умов життєдіяльності, для їх ліквідації залучається велика кількість сил та засобів. Смертельні випадки здебільшого пов'язані зі зсувами звалищних ґрунтів [36, 53, 54].

Причиною суттєвої втрати міцності та швидкого збільшення ризику зсуву стає велика кількість вологи та пожежі [52]. Виникнення небезпечних подій або НС суттєво ускладнює завдання попередження поширення небезпеки, особливо при одночасній реалізації декількох небезпек різного характеру. Внаслідок горіння ТПВ концентрації токсичних компонентів зростають в десятки й сотні разів, при цьому значно розширюється перелік токсичних та вибухонебезпечних газів [55, 56].

З метою зменшення техногенного навантаження на територію у світі впроваджується ліквідаційна технологія біореактору, яка прискорює стабільність полігонів ТПВ, вирішує питання обмеження техногенних площ та викидів парникових газів [57–59]. Так станом на 2018 рік лише у Великобританії налічувалося 460 діючих газових установок [60]. Відповідно до бази даних Програми розповсюдження метану на полігонах ТПВ [61] в США в цілому 564 енергетичних проєктів та приблизно 480 додаткових «кандидатів» що з економічної точки зору можуть перетворити метан біогазу в енергетичний ресурс.

В країнах Європи, що розвиваються, в останні роки, також спостерігаються швидкі темпи впровадження установок утилізації біогазу на полігонах ТПВ, що пов'язано з зобов'язаннями щодо зменшення емісії парникових газів. Країни, що стали на шлях розвитку, мають зобов'язання у сфері управління відходами та реконструкції старих полігонів [62, 63].

Аналізуючи стан сфери поводження з побутовими відходами [64, 65] слід зазначити, що лише за останні 5 років в Україні кількість ліквідаційних технологій у вигляді когенераційних установок на полігонах ТПВ виросла майже в 10 разів. Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 року передбачає, окрім переходу до системи комплексного поводження з ТПВ, будівництво мережі нових санітарних регіональних полігонів, реконструкцію діючих з використанням інноваційних ліквідаційних технологій. А від так «життєвий цикл» полігонів ТПВ буде продовжений, що вимагає розробки комплексу заходів із забезпечення їх техногенної безпеки в нових умовах функціонування.

Таким чином, полігони твердих побутових відходів з урахуванням сучасних тенденцій розміщення на їх території ліквідаційного енергоємного технологічного устаткування становлять додаткову техногенну небезпеку, що вимагає вжиття комплексу заходів з попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів.

1.2. Аналіз підходів до моделювання умов функціонування полігонів твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням

Полігон ТПВ є складною системою «Природа–Техніка–Відходи» на яку діють група факторів. Залежно від рівня та взаємовпливу факторів, система знаходиться в безпечному або небезпечному стані [66]. ЛЕТУ є частиною системи – відноситься до «Техніки». Процеси, що протікають на полігоні та обумовлюють його функціональну здатність з врахуванням факторів впливу, можна описати за допомогою відповідних рівнянь (моделей) утворення метану (метангенерації), масо- та теплообміну, руху звалищного ґрунту. Більша кількість моделей управління полігонів зосереджені на цілях забезпечення екологічної безпеки відповідно до екологічних норм [67].

Так для моделювання гідравлічних процесів використовується комп'ютерний інструмент – програми HELP [68], MODUELO 4.0 [69].

Моделі для розрахунку емісії біогазу описуються переважно рівняннями розпаду 1-го порядку [70], що враховують вміст вуглецю і вологи, вік відходів, їх здатність розкладатися, метеорологічні умови [71]. Практичний інтерес представляють методики Табасарана-Реттенбергера [72], Б. Вебера [73], модель «EMCON» [74], LandGEM [75], GasSim [76], модель нульового порядку IPCC, 1996 [77], однокомпонентна модель першого порядку IPCC, 2000 [78], Академії комунального господарства ім. К. Д. Памфілова [79], А. М. Шаїмової [80] та ін., вибір яких залежить від вихідних даних – факторів впливу. Найвні моделі повною мірою не відображають всіх складнощів багатостадійного процесу функціонування полігону ТПВ, однак, враховують особливості практичного застосування – кінцеву мету розрахунків.

Моделі оцінки поширення компонентів біогазу над полігоном ТПВ побудовані на основі функції розподілу Гауса, що розглянуті в роботах [81, 82], методики ОНД-86 в роботі [83], рівняння турбулентної дифузії в роботі [84] та

інші. Наявність різноманіття моделей пов'язане, знов таки, з особливостями їх практичного застосування.

До опису закономірностей тепломасообміну в масиві відходів – пористих тілах – існує два підходи. Перший підхід передбачає заміну пористої структури її моделлю – умовним квазіоднорідним ізотропним пористим тілом з усередненими величинами пористості, температури, тиску та інше. У другому випадку тепломасообмін описується системою диференціальних рівнянь для твердого елементу пористого тіла (внутрішня задача) і теплоносія (зовнішня задача). Рішення зовнішньої задачі засновано на сумісному розгляді рівнянь: руху Нав'є-Стокса, нерозривності в'язкого нестиснутого потоку, конвекційно-дифузійного перенесення та рівняння енергії. Рішення внутрішньої задачі засновано на розгляді рівняння теплопровідності Фур'є [85, 86].

Зазвичай температура в тілі масиву полігону становить 30–40 °С. Біохімічне розкладання підвищує температуру до 40–70 °С, що активізує процеси хімічного окислення і веде до подальшого підвищення температури [87]. Розвиток температури залежить від вологості, морфологічного складу, вмісту активного вуглецю, щільності, теплоємності, теплопровідності та температуропровідності ТПВ [88]. При певних умовах швидкість виділення тепла реакції окислення горючих речовин може перевищувати швидкість втрат тепла, що призводить до безперервного збільшення температури речовини і його займання [89, 90].

На початковому етапі «життєвий цикл» масиву ТПВ залежить від технології складування та морфологічного складу – відходи деформуються в результаті механічного ущільнення, віджимання фільтрату, деструкції з утворенням біогазу. З часом ТПВ нагромаджуються та утворюють схили.

Розширена класифікація методів розрахунку стійкості схилів, які засновані на механіко-математичному підході, викладена в роботі [91]. Відповідно до нормативного документа [92], найбільш апробованими в геотехнічній практиці є методи граничної рівноваги (диференціальні методи) [93–95], методи оцінювання напружено-деформованого стану методом скінчених елементів (інтегральні методи) [96], комбіновані методи. До методів граничної

рівноваги відносяться методи, що задовольняють рівновазі моментів [93], рівновазі зсувних сил [94], рівновазі моментів та зсувних сил [95].

Об'єднуючи механічні властивості звалищних ґрунтів, науковці [97] проаналізували стійкість полігону методами скінчених елементів і граничної рівноваги. В роботі [98] представлена тривимірна (3D) версія методу Моргенштейн-Прайса. Автори [99] наголошують, що, на відміну від аналізу природних зсувів, при вивченні відмов на схилах полігонів повинен використовуватись динамічний аналіз, який досліджує граничні умови на стійкість.

Механізм руйнування та режим нестабільності полігонів ТПВ вивчаються за допомогою польових досліджень, випробувань фізичних моделей, ымытацыйного моделювання [100]. Наприклад, на основі польових досліджень за допомогою роботизованого тахеометра Topcon IS-301 з дискретністю вимірювань 1 м у горизонтальному та вертикальному напрямках [101], розглянуті питання стабільності ділянки Львівського полігону ТПВ (Україна). За результатами роботи побудовані цифрові моделі рельєфу з кроком сітки 0,25 м, які дали можливість надалі визначити числові характеристики руху сміття на зсувонебезпечній ділянці. Авторами [37, 102], окрім ідентифікації ТПВ як ґрунтоподібного матеріалу, отримані механічні характеристики відходів.

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 [103, 104]. Тому вибір причинних факторів вважається фундаментальним етапом в моделюванні сприйнятливості до втрати стійкості схилів [105, 106]. Автори [36] до внутрішніх факторів нестабільності відносять властивості відходів та структурні особливості будови тіла полігону, до зовнішніх – землетрус, дощ, рециркуляція фільтрату, земляні роботи, перевантаження. Збільшення обсягів відходів та постійні зміни в похилих структурах полігону призводять до змін фізико-механічних властивостей та гідрологічних характеристик [99, 107]. Результати досліджень [108] показують, що стабільність схилів лінійно зменшується зі збільшенням навантаження. Коли перевантаження діє як на вершину, так і на сходинку схилу,

загальна стійкість в основному залежить від перевантаження на вершині схилу. Геометрія схилів є одним із визначальних факторів що впливає на геотехнічні властивості відходів та стійкість схилів [47, 109]. Напруження на схилах залежить від їх висоти [110, 111].

Щоб гарантувати безпечну експлуатацію та продовжити термін служби полігону, дуже важливо ущільнювати відходи шар за шаром [53, 112].

Серія модельних випробувань центрифуг [113, 114] продемонструвала розвиток процесів відмов стійкості масиву звалищних ґрунтів в умовах підвищеного рівня вологості. Співвідношення критичного рівня води та висоти масиву ТПВ склала близько 0,8 [114]. Високий рівень вилуговування та надмірний вміст води за статистикою та аналізом небезпек на полігонах ТПВ є домінуючими факторами нестабільності [115]. На розподіл води впливає коефіцієнт фільтрації та щільність відходів [116, 117]. Фільтрація залежить від співвідношення пористості [117]. Вплив системи покриття на просочування та стійкість схилів досліджені в роботах [118, 119]. Автори [120] розглянули вплив рослинності: індексу площі листа, функції розподілу кореня, індексу області кореня. Супутнім фактором виникнення небезпеки є сейсмічна нестабільність [121, 122]. Автори [48] розглядають фактор вибуху біогазу внаслідок підземних пожеж, що спричиняють розтріскування й осідання поверхні полігону.

Опір звалищних ґрунтів на зсув визначається силами внутрішнього тертя та зчепленням. ТПВ за рахунок вмісту волокон характеризуються механічною (структурною) зв'язністю, а за рахунок наявності вологих липких компонентів – зчепленням [123, 124]. Значення міцності на зсув мають широкий діапазон: кут тертя в діапазоні від 15° до 42° ; когезія в діапазоні від 0 до 28 кПа [125]. В роботі [126] зазначено, що деградація відходів, як процес розкладання органічного матеріалу з утворенням біогазу, включає фізичні, хімічні зміни. Польові та лабораторні дослідження [127] показали, що тіло відходів можна поділити на декілька шарів за віком захоронення. За результатами модельних випробувань центрифуг [127] встановлено, що кожен

зі зразків, який мав свій індивідуальний склад, характеризувався різною міцністю на зсув. Міцність на зсув зменшується з роками захоронення ТПВ.

Метод розрахунку стійкості масиву звалищних ґрунтів запропонований авторами [128, 129] враховує сили в волокнах на розтягнення. Змодельовані ситуації показали: без пожежі на звалищі загальна стабільність склала 1,13; з пожежею, коли міцність на розрив була втрачена, загальна стабільність склала 1,00 [128].

Таким чином, наведений аналіз існуючих підходів до моделювання умов функціонування полігонів твердих побутових відходів довів відсутність комплексних досліджень з оцінки ефективності функціонування полігону твердих побутових відходів у разі введення до складу його технологічного процесу ліквідаційного енергоємного технологічного устаткування.

1.3. Аналіз підходів до попередження надзвичайних ситуацій на полігонах твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням

Задача пошуку шляхів попередження НС на полігонах ТПВ з ЛЕТУ в розвинених країнах світу представлена роботами науковців зі США, Австралії, Німеччини, Великобританії, Ісландії тощо. Підходи підвищення стійкості на зсув включають плани землекористування, належну практику будівництва, системи оповіщення, забезпечення готовності й обізнаності населення, оцінку ризиків, бар'єри фізичного захисту [130, 131].

Автори [132, 133] розглядають систему запобігання та протидії НС, яка включає процеси аналізу, попереднього розрахунку ризиків, покращення та узгодження. Кількісна оцінка потенційних ризиків може допомогти мінімізувати загрозу. Порівняльний аналіз методів моніторингу й зниження ризику зсувів можна знайти в роботах [134, 135].

Австралійські дослідники [136] розробили програмне забезпечення AI для передбачення зсувів мас відходів, що надає додатковий час для евакуації, а спеціалістам – можливість убезпечити схили.

В роботі [137] на базі програмного продукту Vensim розроблена двох факторна імітаційна модель поширення НС, яка враховує загальні показники загибелі населення та досвіду керівного складу з подолання наслідків НС.

В роботі [138] наголошується про важливість фактору своєчасного сповіщення населення, його усвідомлення про небезпеку. Відеосюжети є ефективним інструментом навчання громадян діям в умовах зсуву [139, 140]. Використання соціальних медіа ресурсів як додаткового важеля впливу при подоланні наслідків НС, розглянуто в роботі [141]. У якості механізму практичної реалізації запропоновано застосування потенціалу волонтерських груп.

Автори роботи [142] запропонували для аналізу безпеки в умовах поширення наслідків НС методику Soft Systems (SSM), яка більш цілісно оцінює наслідки поширення НС з погляду багатфакторності задачі з формування управлінських рішень.

Дослідники [143] в якості критерію зростання ризику виникнення НС розглядають зміни клімату. В роботі [144, 145] запропонована модель каскадних ефектів на базі матриці взаємовпливів окремих факторів розвитку НС.

В роботі [146] досліджені можливості теорії складних адаптивних систем (CAS) для визначення рівня стійкості до процесів поширення наслідків НС.

Мінімізації наслідків небезпеки пов'язаних зі зсувом здійснюється за допомогою пасивних та активних методів інженерного захисту [147, 148]. 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 й вивчення прояву небезпечних геологічних процесів [149].

Карти сприйнятливості до зсувів (LSM) відіграють важливу роль в управлінні небезпеками для планування землекористування та зниження ризиків [150, 151]. Дослідники досить успішно використовували широкий спектр кількісних методів для картування сприйнятливості до зсувів [151]. Широко використовуються методи: двовимірні, багатовимірні [152], логістична регресія (LR) [153], нейро-нечіткі методи [154], імовірнісні моделі з використанням моделювання Монте-Карло з ГІС [155].

Практичний інтерес викликають підходи попередження НС на полігонах ТПВ або звалищах в країнах, що розвиваються. Позиції лідера займають Китайська народна республіка, Федеративна Республіка Бразилія, Республіка Індії. Для визначення причинно-наслідкових зв'язків виникнення небезпеки та подальшого управління застосовують геонаукові знання [156]. Процедура пом'якшення наслідків засновується на результатах моніторингу зон небезпеки за допомогою польових досліджень, аналізу супутникових зображень (зображень до і після зсувного періоду) [157]. В роботі [158] зазначено, що вплив зсувів може бути зведений до мінімуму якщо спільноти проінформовані та готові протистояти. Усвідомлення чітких границь відповідальності, культура солідарності, комунікаційні властивості сприяють гармонійному та ефективному управлінню НС [159].

Ефективність роботи аварійних служб багато в чому залежить від фізичних здібностей рятувальників, а саме: ваги, зросту та серцево-судинної витривалості [160]. Питання управління НС взаємопов'язані з навчанням [161]. У дослідженні [162, 163] загостренні окремі питання ресурсного забезпечення робіт ліквідації НС.

В останнє десятиліття поєднання швидкого розвитку недорогих й невеликих безпілотних літальних апаратів (БПЛА), удосконаленої акумуляторної технології та традиційних датчиків (оптичних і LiDAR), з точки зору вартості і розмірів, призвели до появи нових можливостей в галузі

дистанційного зондування і 3D моделювання поверхонь [164, 165] – створення інформаційної підтримки процесу попередження НС.

Серед методів картографування зсувів слід виділити: традиційні методи (польове геоморфологічне картографування, візуальне дешифрування аерофотознімків); сучасні методи (візуальна інтерпретація оптичних зображень, аналіз мультиспектральних зображень, використання даних SAR - радарів з синтезованою апертурою); методи поліпшеного польового картографування (з використанням GPS для зйомки, ГІС-технологій) [166].

Доведено, що використання ГІС є найбільш прийнятним інструментом для просторового та статистичного аналізу сприйнятливості схилів полігонів ТПВ до зсуву на прикладі одного з міст Бразилії. За результатами досліджень визначені території, які вимагають більшої уваги та контролю для запобігання зсувів та повеней [167].

Дощові опади є найбільш поширеним фактором зсувів у всьому світі [168–170], тому ефективна характеристика моделей запуску зсувів, пов'язаних з опадами, має високий пріоритет. Модель оцінки небезпеки зсувів для ситуаційної обізнаності (LHASA) містить об'єднану оцінку опадів з картою сприйнятливості до зсувів [171]. В роботі [171, 172] зазначено, що визначення часу, місця й ступеня впливу зсувів, має особливе значення для розробки стратегій зниження наслідків, ефективного та своєчасного реагування на безпеку, розробку та впровадження відновлювальних заходів.

Оскільки захоронення відходів на полігонах (звалищах) відбувається кожен день, для запобігання зсувних катастроф необхідний регулярний аналіз стійкості схилів мас ТПВ. Супутникові, бортові й наземні дані дистанційного зондування відіграють важливу роль під час оцінки зсувів [173–175]. В роботі [176] за допомогою радіолокаційних даних з синтезованою апертурою (SAR) встановлені основні причини зсуву: відсутність ущільнення відходів, високий пороводяний тиск.

Активні методи інженерного захисту від зсуву представлені заходами зі стабілізації й утримання зсувного масиву звалищних ґрунтів [177, 178].

В роботі [179] проведений аналіз інноваційних рішень для зміцнення схилів та їх відновлення в Болгарії, Італії та США. Найбільш відомим методом стабілізації схилів є зміна його поверхні (зменшення висоти, корекція профілю) й посилення конструкцій, відведення надлишку вологи. Питання запобігання перезволоження за допомогою дренажних споруд розглянуті в роботі [180], ізоляції відходів від атмосфери в роботі [181], перерозподілу ґрунтових мас за допомогою перегородок в роботі [182], утримання зсувних мас підірними стінками на етапі технічної реабілітації в роботі [183], підсиленням за допомогою палів в роботі [184], будівництво берм [185]. Змінюючи висоту берми і ширину основи, можна знайти оптимальне рішення для стійкості [186].

Одним із методів стабілізації схилів є армування ґрунтом [187, 188], використання промислових продуктів, вторинних матеріалів [188, 190], геоволокна [191, 192]. Геосинтетичне армування на звалищах в США включає в себе звичайні посилені структури ґрунту й стабілізацію шпону за допомогою армуючих елементів, розміщених уздовж схилу звалища і закріплених на гребені [193].

Авторами [194] пропонується метод біоінженерії в якості ефективного вирішення проблем нестабільності схилів.

Прогнозування й попередження пожеж на полігонах ТПВ, як фактора зниженню стабільності масиву відходів [195, 196], вкрай ускладнено через різну питому теплоємність відходів. Поки вогонь або дим не вийшли на поверхню, виявити осередок загоряння візуально практично неможливо [197, 198]. Окрім води, для гасіння пожеж використовують впорскування азоту або діоксиду вуглецю. Альтернативою цьому методу є подача пари [199].

Досягти зниження рівня пожежної небезпеки на полігоні ТПВ можливо за рахунок контрольованого вилучення з масиву відходів пожежо-вибухонебезпечного газу – метану [12, 29, 30]. Під час вилучення біогазу потрібно дотримуватись процедури моніторингу та контролю параметрів біогазу на оголовках свердловин, огляду поверхні масиву відходів [200, 201]. Вчені зі Швеції, США [202, 203] запропонували для моніторингу газових

викидів на полігонах ТПВ використовувати мобільних роботів з метою виключення впливу небезпеки для операторів або підвищення якості збору даних.

Таким чином, не зважаючи на різноплановість проведення наукових досліджень у сфері попередження надзвичайних ситуацій та пожеж на полігонах твердих побутових відходів на сьогодні відсутня єдина математична база та відповідна методика, яка комплексно визначає процес попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів на зазначених потенційно-небезпечних об'єктах з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням.

1.4. Постановка задачі наукового дослідження

З урахуванням сучасних вітчизняних наукових підходів у сфері цивільного захисту [204–206] та відповідної нормативної бази України [207–209], НС являють собою умовний рівень перебігу надзвичайної події, який досягається за одним або кількома домінуючими ознаками, з погляду рівня загрози, та/або можливостей протидії підрозділів Державної служби України з надзвичайних ситуацій (ДСНС України).

Відповідно до числа негативних наслідків НС на полігону ТПВ з ЛЕТУ слід відносити: кількість жертв та кількість постраждалих, як наслідок першої групи пріоритетності; кількість осіб з порушенням умов життєдіяльності та розмір заподіяної шкоди – наслідки другої групи пріоритетності; площа поширення небезпеки НС та затрати на ліквідацію наслідків НС – наслідки третьої групи пріоритетності.

Досягнення межі переростання НС об'єктового рівня на полігоні ЛЕТУ до місцевого рівня можливо за умов реалізації одного або кількох з наведених розвитку подій, а саме:

– загибель внаслідок задухи, розчавлення масою звалищних ґрунтів понад 2 осіб з числа працівників самого об'єкту та/або неформальних поселень,

та/або фахівців підрозділів ДСНС України під час протікання та/або ліквідації небезпеки;

– отримання різних видів травмування масою звалищних ґрунтів понад 20 осіб з числа працівників самого об'єкту, сусіднього об'єкту та/або неформальних поселень, та/або фахівців підрозділів ДСНС України;

– порушення нормальних умов життєдіяльності понад 100 осіб на території поширення НС за межі полігону ТПВ;

– поширення небезпечних факторів за межі територій потенційно небезпечного об'єкта із загрозою довкіллю, сусіднім населеним пунктам, інженерним спорудам тощо.

Враховуючи наведене, реалізація комплексної методики попередження НС на полігоні ТПВ з ЛЕТУ, повинна забезпечити відсутність ураження як цивільних осіб, так і фахівців підрозділів ДСНС України, що можливе внаслідок каскадного поширення надзвичайної події. Відповідно умовою ефективності процесу попередження НС подібного характеру є недопущення її розвитку за межі об'єктового рівня поширення, насамперед за наслідками першої групи пріоритетності, як то кількості жертв та кількості постраждалих. Це можливо досягнути на основі розробки та дотримання ефективних організаційних, оперативних, інформаційних та інженерних заходів, що у свою чергу базуються на сучасному математичному апараті, який враховує взаємовплив характеристик фізичного стану звалищних ґрунтів, як-то: вологість, щільність, температура та технологічних показників ЛЕТУ.

Таким чином, задачею наукового дослідження є розробка методики попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів на полігоні твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням, в інтересах недопущення переростання надзвичайної ситуації з об'єктового на більш високі рівні поширення небезпеки, реалізація якої дозволить захистити від ураження цивільних осіб та фахівців підрозділів Державної служби України з надзвичайних ситуацій.

Висновки по першому розділу

1. Полігони твердих побутових відходів з урахуванням сучасних тенденцій розміщення на їх території ліквідаційного енергоємного технологічного устаткування становлять додаткову техногенну небезпеку, що вимагає вжиття комплексу заходів з попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів.

2. Наведений аналіз існуючих підходів до моделювання умов функціонування полігонів твердих побутових відходів довів відсутність комплексних досліджень з оцінки ефективності функціонування полігону твердих побутових відходів у разі введення до складу його технологічного процесу ліквідаційного енергоємного технологічного устаткування.

3. Не зважаючи на різноплановість проведення наукових досліджень у сфері попередження надзвичайних ситуацій та пожеж на полігонах твердих побутових відходів на сьогодні відсутня єдина математична база та відповідна методика, яка комплексно визначає процес попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів на зазначених потенційно-небезпечних об'єктах з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням.

4. Задачею наукового дослідження є розробка методики попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів на полігоні твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням, в інтересах недопущення переростання надзвичайної ситуації з об'єктового на більш високі рівні поширення небезпеки, реалізація якої дозволить захистити від ураження цивільних осіб та фахівців підрозділів Державної служби України з надзвичайних ситуацій.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПОПЕРЕДЖЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ КАСКАДНОГО ТИПУ ПОШИРЕННЯ, ПОВ'ЯЗАНИХ ЗІ ЗСУВОМ ЗВАЛИЩНИХ ҐРУНТІВ НА ПОЛІГОНІ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ З ЛІКВІДАЦІЙНИМ ЕНЕРГОЄМНИМ ТЕХНОЛОГІЧНИМ УСТАТКУВАННЯМ ТА РОЗРОБКА НА ЇЇ ОСНОВІ ВІДПОВІДНОЇ МЕТОДИКИ

Вирішувати другу задачу наукових досліджень будемо наступним чином: по-перше, розробимо математичну модель попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів на полігоні твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням; по-друге, на основі математичної моделі розробимо методику попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів на полігоні твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням.

2.1. Математична модель попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів на полігоні твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням

2.1.1. Фізичні умови формування математичної моделі. Біогаз, що збирається з масиву полігону ТПВ, є альтернативним джерелом енергії для енергетичних установок. Біогаз можна спалювати в котлах для виробництва пару, гарячої води або іншому спеціально пристосованому устаткуванні, а саме

сушарках, обігрівачах, печах, пальниках, випарниках, реформерах, газових холодильних машинах та інше, як на території полігону, так й за його межами. Устаткування може працювати на біогазі як основному або додатковому виді палива у виробничому процесі.

З огляду на економічну рентабельність, пряме енергетичне використання біогазу доцільне якщо полігон ТПВ розташований недалеко від кінцевого споживача (як правило, на відстані менше ніж 10 або 15 км), або сам є споживачем – задовольняє власні потреби в енергії. Географічні обмеження долаються за допомогою використання біогазу для виробництва електроенергії безпосередньо на полігоні з подальшою подачею до загальної мережі електропостачання.

Біогаз в умовах полігону ТПВ може використовуватися, як паливо, у двигунах внутрішнього згоряння потужністю від 100 кВт_{ел} до 2 МВт_{ел} або газових турбінах потужністю від 1 МВт_{ел} до 10 МВт_{ел} й більше, мікротурбінах потужністю до 100 кВт_{ел}, що приводять у рух електричні генератори. Електроенергія може використовуватися для власних потреб, наприклад, забезпечення потреб газодувки активної системи збору біогазу або випарника фільтрату.

Також, деякі газові проекти по утилізації біогазу передбачають використання когенераційних установок – сумісне виробництво електричної та теплової енергії.

Вибір відповідного ЛЕТУ залежить від ряду факторів, серед яких кінцева мета отримання біогазу – енергетичне використання. В контексті попередження НС, вагоме значення мають: кількісний та якісний склад біогазу, його зміни у часі (обумовлюють потужність та надійність); наявність поблизу кінцевого споживача для прямого використання; власні потреби в споживанні енергії; наявність та кваліфікація операторів для надійної експлуатації та обслуговування.

Інформаційна модель виникнення НС каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів в умовах наближеного розташування

ЛЕТУ наведена на рисунку 2.1. Під каскадним типом поширення мається навазі – одна небезпека породжує іншу (ефект «доміно» або ланцюгової реакції).

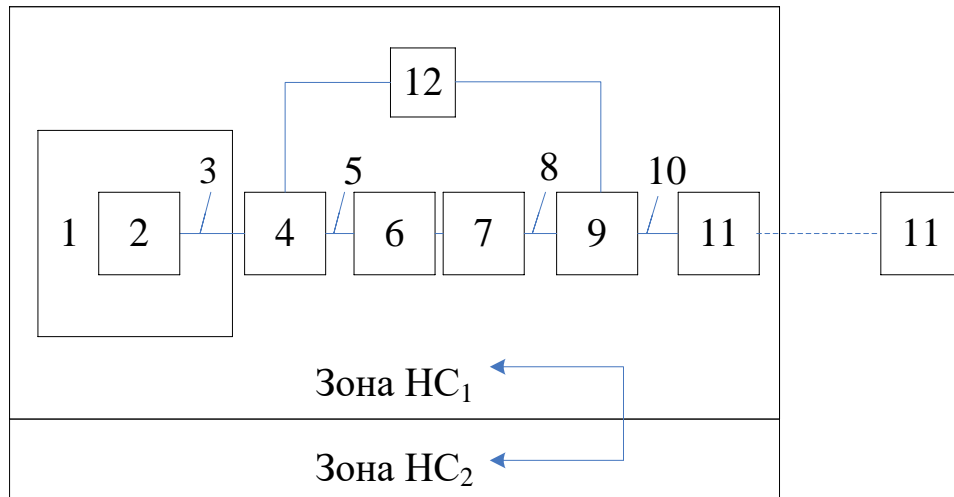


Рисунок 2.1. Інформаційна модель виникнення НС каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів в умовах наближеного розташування ЛЕТУ.

На рисунку 2.1 використані позначення: 1 – масив звалищних ґрунтів, 2 – газові свердловини, 3 – газозбірні трубопроводи з конденсатовідводчиками, 4 – газозбірна станція (колектори), 5 – газотранспортний трубопровід низького тиску, 6 – вузол підготовки, 7 – газокompресорна станція, 8 – газопровід високого тиску, 9 – ЛЕТУ, 10 – розподільча мережа, 11 – кінцевий споживач, 12 – система фізичного захисту.

Основними небезпечними факторами виникнення НС є зсув звалищних ґрунтів на полігоні (внаслідок втрати стійкості схилів) – зона НС₁, та вибух біогазу на ЛЕТУ – зона НС₂ [210, 211].

Стійкість схилів – це здатність чинити опір руйнуванню що відбувається при зсуві однієї частини по відношенню до іншій по явно вираженій криволінійній поверхні ковзання під дією дотичних напружень від зовнішнього

навантаження. Дотичні напруження у товщі масиву виникають під дією власної ваги відходів, зовнішнього навантаження, сейсмічності, пороводяного тиску.

Розрахунок стійкості схилів базується на основі теорії міцності Мора-Кулона:

$$\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi + C, \quad (2.1)$$

де τ – величина дотичних напружень, кПа; σ – величина нормальних напружень, кПа; φ – кут внутрішнього тертя звалищних ґрунтів; C – величина зчеплення ґрунтів, кПа.

Територія або схил вважається безпечним від зсуву у разі виконання умов [212]:

$$K_{cm} = \frac{F_{ym}}{F_{zc}} \geq K_{sn}, \quad (2.2)$$

де K_{cm} – коефіцієнт стійкості; F_{ym} – опір масиву зміщенню, кН; F_{zc} – зсувне зусилля, кН; K_{sn} – нормативний (мінімально необхідний) коефіцієнт запасу стійкості

$$K_{sn} = \frac{\gamma_n \cdot \gamma_{fc}}{\gamma_c}, \quad (2.3)$$

де γ_n – коефіцієнт надійності, що враховує клас наслідків (відповідальності) об'єктів інженерного захисту [213] ($\gamma_n = 1$, незначні наслідки класу СС1); γ_{fc} – коефіцієнт сполучення навантажень ($\gamma_{fc} = 1$, основне); γ_c – коефіцієнт умови роботи ($\gamma_c = 1$, ті, що задовольняють умовам рівноваги).

Коефіцієнт стійкості за методом граничної рівноваги описується виразом:

за умови рівноваги сил:

$$K_f = \frac{\sum_{i=1}^n [C_i \cdot l_i + (N_i - u_i \cdot l_i) \cdot \operatorname{tg} \varphi_i] \cdot \cos \alpha_i}{\sum_{i=1}^n N_i \cdot \sin \alpha_i + \mu_h \cdot \sum_{i=1}^n W_i + \sum_{i=1}^n D_i \cdot \sin \beta_i}, \quad (2.4)$$

за умови рівноваги моментів сил:

$$K_m = \frac{\sum_{i=1}^n [C_i \cdot l_i + (N_i - u_i \cdot l_i) \cdot \operatorname{tg} \varphi_i] \cdot R_i}{\sum_{i=1}^n N_i \cdot f_i + \sum_{i=1}^n W_i \cdot x_i + \mu_v \cdot \sum_{i=1}^n W_i \cdot x_i + \mu_h \sum_{i=1}^n W_i \cdot e_i + \sum_{i=1}^n D_i \cdot d_i}, \quad (2.5)$$

сила нормальної реакції в основанні відсіків:

$$N_i = \frac{W_i + \mu_v \cdot W_i - (X_i^R - X_i^L) + \frac{u_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i - C_i}{F_j} \cdot l_i \cdot \sin \alpha_i + D_i \cdot \cos \beta_i}{\cos \alpha_i + \frac{\sin \alpha_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i}{K_{f(m)}}}, \quad (2.6)$$

сила нормальної реакції в основі відсіків (без врахування міжвідсікових сил):

$$N_i^{yp} = W_i \cdot \cos \alpha_i + \mu_v \cdot W_i \cdot \cos \alpha_i - \mu_h \cdot W_i \cdot \sin \alpha_i + D_i \cdot \cos(\alpha_i + \beta_i), \quad (2.7)$$

дотична міжвідсікова сила по гранях відсіків:

$$X = E \cdot \lambda \cdot f(x), \quad (2.8)$$

нормальна міжвідсікова сила по гранях відсіків:

$$E_i^R = E_i^L + N_i \left(\sin \alpha_i - \frac{\operatorname{tg} \varphi_i \cdot \cos \alpha_i}{K_{f(m)}} \right) + \frac{u_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i - C_i}{K_{f(m)}} \cdot l_i \cdot \cos \alpha_i + \mu_h \cdot W_i + D_i \cdot \sin \beta_i, \quad (2.8)$$

де i – номер відсіку, що розглядається; n – загальна кількість відсіків; α – кут нахилу основи відсіку до горизонту, град; l – довжина основи відсіку, м; W – вага ґрунту в відсіку, кН; N – нормальна реакція в основі відсіку, кН; E – нормальна складова міжвідсікових сил, кН; X – дотична складова міжвідсікових сил, кН; D – результуюча сила зовнішнього навантаження, кН; u – величина порового тиску, кПа; μ – коефіцієнт сейсмічності; f – плече сили нормальної реакції в основі відсіку N , м; R – плече сили опору ґрунту зрушенню, м;

$$S_m = [(N - u \cdot l) \cdot \operatorname{tg} \varphi + C_i] / K_{f(m)}$$

де x – плече сили тяжіння відсіку W , м; e – плече горизонтальної складової сейсмічного навантаження, м; d – плече результуючого зовнішнього навантаження D , м; β – кут нахилу результуючого зовнішнього навантаження D , град; λ – коефіцієнт міжвідсікової функції (в частках від одиниці); $f(x)$ – функція міжвідсікових сил.

На рисунку 2.2 наведена схема методу граничної рівноваги в зоні НС₁.

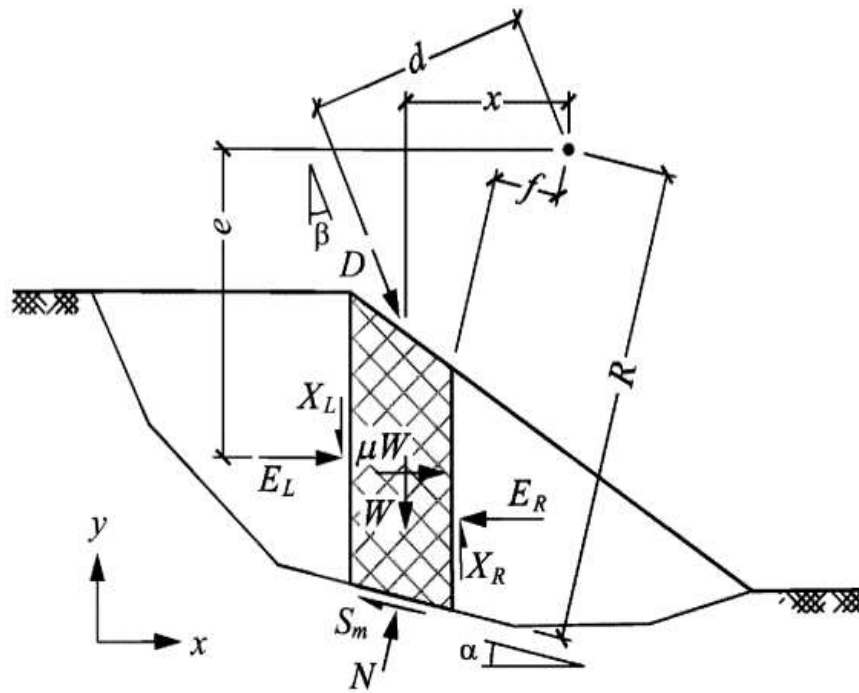


Рисунок 2.2. Розрахункова схема методу граничної рівноваги в зоні НС₁.

На рисунку 2.2 використані позначення: α – кут нахилу основи відсіку до горизонту, град; W – вага ґрунту в відсіку, кН; N – нормальна реакція в основі відсіку, кН; E – нормальна складова міжвідсікових сил, кН; X – дотична складова міжвідсікових сил, кН; D – результуюча сила зовнішнього навантаження, кН; μ – коефіцієнт сейсмічності; f – плече сили нормальної реакції в основі відсіку N , м; R – плече сили опору ґрунту зрушенню, м; x – плече сили тяжіння відсіку W , м; e – плече горизонтальної складової сейсмічного навантаження, м; d – плече результуючого зовнішнього навантаження D , м; β – кут нахилу результуючого зовнішнього навантаження D , град; $f(x)$ – функція міжвідсікових сил.

Індекс L означає перетин з меншою координатою x , індекс R відповідно відноситься до перетину з більшою координатою x . Індеси h та v означають горизонтальну та вертикальну складові відповідно.

Функція міжвідсікових сил $f(x)$ являє собою залежність нахилу результуючої міжвідсікової сили від положення розрахункового перетину по довжині зсуву. Як аргумент функції використовується відносна координата x_{rel} перетину, що розглядається:

$$x_{rel} = \frac{x - x_0}{x_n - x_0}, \quad (2.9)$$

де x – координата розрахункового перетину, м; x_0 – координата першого перетину (в голові зсуву), м; x_n – координата останнього перетину (в язиці зсуву), м.

Гідростатичне зважування зменшує вертикальні напруги в скелеті і чисельно дорівнює величині порового тиску u

$$u = \gamma_w \cdot H_w, \quad (2.10)$$

де γ_w – питома вага води, кН/м³; H_w – середня висота п'єзометричного рівня у відсіку, м.

Умови на полігоні ТПВ, з причин різної кількості, складу, віку відходів, інфільтрації повітря, атмосферних опадів тощо, постійно змінюються, а система збору біогазу, ЛЕТУ піддаються стресам. Якщо ЛЕТУ розташоване поряд з полігоном ТПВ, то існує ймовірність виникнення НС каскадного типу поширення. Небезпечні фактори впливу зсуву звалищних ґрунтів на полігоні ТПВ можуть ініціювати вибух біогазу на устаткуванні, та навпаки, небезпечні фактори вибуху біогазу – зсув звалищних ґрунтів [214].

Енергетичними показниками вибухонебезпечності ЛЕТУ є наступні критерії:

– загальний енергетичний потенціал устаткування, що характеризується сумою енергій адіабатичного розширення парогазової фази, повного згоряння

наявних і новоутворених парів внаслідок внутрішньої й зовнішньої енергії при аварійному розкритті обладнання;

– загальна маса горючих парів вибухонебезпечної парогазової хмари приведена до єдиної питомої енергії згоряння;

– відносний енергетичний потенціал вибухонебезпеки устаткування.

Ступінь руйнування будівельних конструкцій та ураження людей залежить від надлишкового тиску в ударній хвилі, який утворюється внаслідок різкого теплового розширення продуктів вибуху та поширюється в усіх напрямках від центру вибуху. Згідно [215] надлишковий тиск в ударній хвилі можна визначити за формулою:

$$\Delta P = P_0 \cdot \left(\frac{0,8 \cdot m_{np}^{0,33}}{r} + \frac{3 \cdot m_{np}^{0,66}}{r^2} + \frac{5 \cdot m_{np}}{r^3} \right), \quad (2.11)$$

де P_0 – атмосферний тиск, кПа (допускається приймати таким, що дорівнює 101,3 кПа); m_{np} – приведена маса горючого газу, кг; r – відстань від геометричного центра зовнішньої установки до межі розрахункової зони, м.

$$m_{np} = \left(\frac{Q_{32}}{Q_o} \right) \cdot m_z \cdot Z, \quad (2.12)$$

де Q_{32} – питома теплота згоряння горючого газу (метану), Дж/кг; Z – коефіцієнт участі горючого газу (для метану $Z=0,5$); Q_o – теплота вибуху тринітротолуолу, яка дорівнює $4,52 \cdot 10^6$ Дж/кг; m_z – маса горючого газу (метану), який потрапив до навколишнього простору в результаті розрахункової аварії, кг

$$m_z = V_y \cdot \rho_z, \quad (2.13)$$

де V_y – об’єм горючого газу (метану), що вийшов з устаткування, м³;
 ρ_z – густина горючого газу за розрахункової температури t_p .

$$\rho_z = \frac{M}{V_o \cdot (1 + 0,00367 \cdot t_p)}, \quad (2.14)$$

де M – молярна маса, кг/кмоль; V_o – мольний об’єм, м³/кмоль ($V_o = 22,413$).

Розрахунок зон дії вражаючих факторів вибухів проводять з розрахунку тротилового еквівалента вибуху парогазового середовища.

$$W_T = \left(\frac{0,4 \cdot Q_{3z}}{0,9 \cdot Q_o} \right) \cdot m_z \cdot Z, \quad (2.15)$$

де W_T – тротильовий еквівалент, кг; 0,9 – частка енергії вибуху тринітотолуолу, що витрачається на формування ударної хвилі; 0,4 – частка енергії вибуху парогазового середовища, що витрачається безпосередньо на формування ударної хвилі.

Зоною руйнування і можливого травмування людей вважають площу з прийнятим для розрахунку центром вибуху і межами, що визначаються радіусом ураження $r_{ураж}$.

$$r_{ураж} = \frac{K_i \cdot \sqrt[3]{W_T}}{\left(1 + \left(\frac{3180}{W_T} \right)^2 \right)^{1/6}}, \quad (2.16)$$

де K_i – безрозмірний коефіцієнт рівня впливу вибуху, що визначають залежно від надлишкового тиску в ударній хвилі.

Вільна енергія природно-технічної системи утилізації відходів описується рівнянням [216]:

$$dP = \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_w dT + \left(\frac{\partial P}{\partial w} \right)_T dw, \quad (2.17)$$

де P – повний тиск вологи, кПа; T – температура, $^{\circ}\text{C}$; w – вологість масиву звалищних ґрунтів, %.

На рисунку 2.3 наведена зона НС₁, що утворюються внаслідок зсуву звалищних ґрунтів на полігоні ТПВ та зона НС₂ – вибуху біогазу на ЛЕТУ, які можуть існувати у часі та територіально незалежно одна від одної за рахунок умов віддаленого розташування ЛЕТУ – каскадний тип поширення виключений.

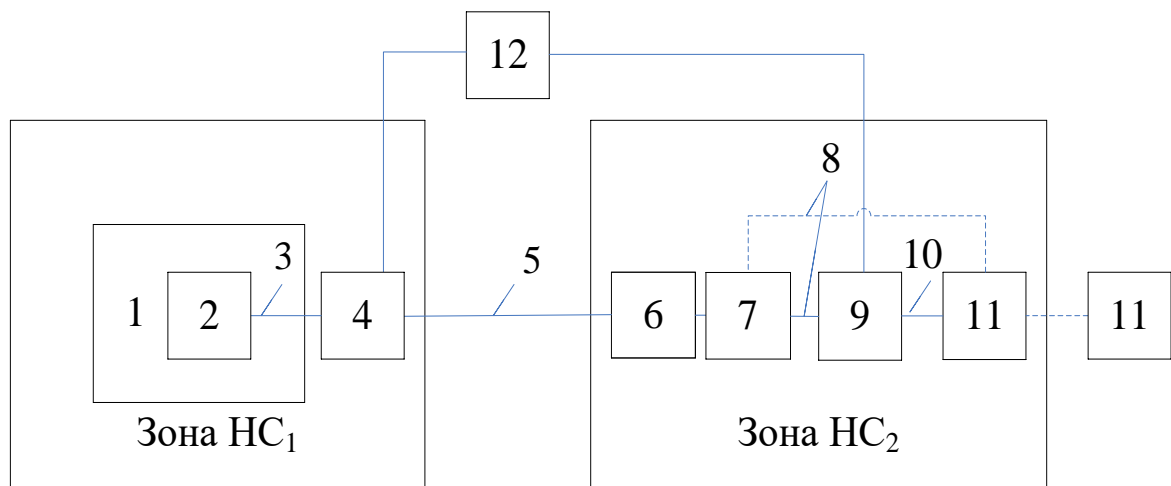


Рисунок 2.3. Інформаційна модель попередження НС каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів за рахунок умов віддаленого розташування ЛЕТУ.

Зона НС₁ охоплює масив звалищних ґрунтів 1 та комунікації збору біогазу (газові свердловини 2, газозбірні трубопроводи з конденсатовідводчиками 3, газозбірну станцію (колектори) 4). Зона НС₂ охоплює вузол підготовки 6, газокомпресорну станція 7, газопровід високого тиску 8, ЛЕТУ 9, розподільчу мережу 10. Кінцевий споживач 11 може відноситись до зони НС₂ у випадку розташування поряд з зоною небезпеки (поряд з ЛЕТУ).

Умовою ефективності попередження НС каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів за пріоритетними наслідками кількість загиблих осіб q_1 , кількість постраждалих q_2 та кількість осіб з порушенням умов життєдіяльності q_3 є строге виконання системи рівнянь [217, 218]:

$$\begin{cases} q_1(w, \rho, T) = 0 \\ q_2(w, \rho, T) < q^{об} \\ q_3(w, \rho, T) \leq q^{об} \end{cases}, \quad (2.18)$$

де $q^{об}$ – кількісні показники наслідків НС, що відповідають об'єктовому рівню небезпеки, (w, ρ, T) – вологість, щільність, температура звалищних ґрунтів на полігоні ТПВ.

Діапазон варіації вхідних параметрів (w, ρ, T) залежить від організаційних, оперативних, інформаційних та інженерних заходів, що визначаються інженерно-проектними, експлуатаційними умовами [219, 220].

Умови, що впливають на фізичні властивості звалищних ґрунтів полігону ТПВ та ефективність попередження НС на потенційно-небезпечних об'єктах, що розглядаються, наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1.

Умови, що впливають на фізичні властивості звалищних ґрунтів та ефективність попередження НС на полігоні ТПВ з ЛЕТУ.

№ з/п	Компонент умови	Опис
1	Розміщення	Впливає на температурний режим, інфільтрацію вологи, стійкість схилів звалищних ґрунтів
2	Потужність	
3	Склад відходів	Впливає на швидкість розкладання, стійкість схилів звалищних ґрунтів
4	Збір та управління фільтратом	Впливає на інфільтрацію вологи. Запобігає втраті стійкості схилів звалищних ґрунтів
5	Послідовність заповнення	Впливає на температурний режим, інфільтрацію вологи, повітря. Запобігає загорянням, втраті стійкості схилів звалищних ґрунтів
6	Покриття	
7	Ущільнення	
8	Контроль загорянь	Впливає на температурний режим. Запобігає виникненню пожеж, втраті стійкості схилів звалищних ґрунтів

Аналіз таблиці 2.1 показує, що з метою попередження поширення розглянутих вище за текстом НС потрібно розробити математичну модель, яка описує рішення окремих задач з оцінки фізичних властивостей звалищних ґрунтів та безпеки зсувного масиву з урахуванням технологічних показників ЛЕТУ. Зазначена математична модель увійде в основу відповідної методики попередження НС каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів на полігоні ТПВ з ЛЕТУ, реалізація якої призведе до недопущення переростання НС з об'єктового на більш високі рівні поширення безпеки за пріоритетними наслідками, як то кількості жертв та кількості постраждалих.

2.1.2. Рішення окремої задачі з оцінки вологості звалищних ґрунтів. В рамках вирішення окремої задачі з оцінки вологості звалищних ґрунтів (φ_1) зазначимо наступне – звалищні ґрунти об'ємом V масою G , умовно складається з частин, які заповнені твердою (мінеральною) складовою об'ємом V_{me} масою G_{me} та порами об'ємом V_n (рисунок 2.4). Пори являють собою простір заповнений об'ємом води V_w масою G_w та газом. Об'ємні співвідношення між твердою, рідкою та газоподібними фазами у часі та просторі змінюються, що істотно впливає на стійкість схилів на зсув масиву звалищних ґрунтів.

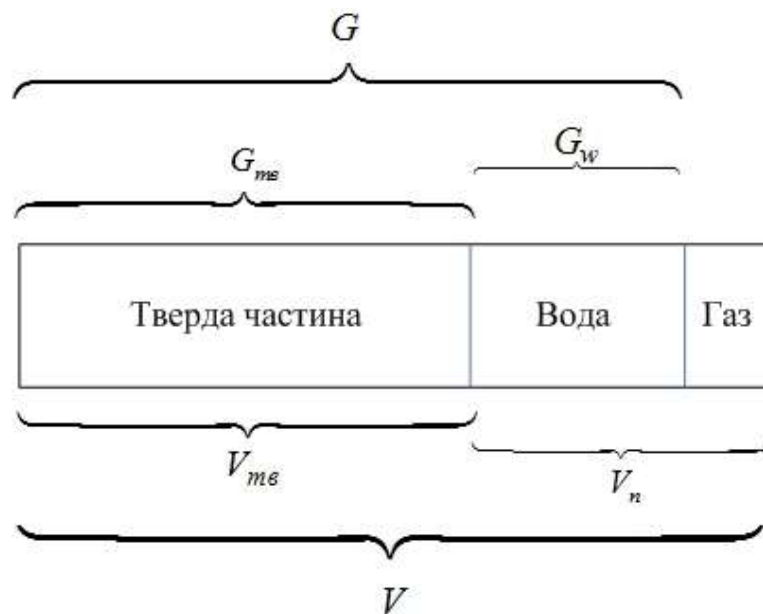


Рисунок 2.4. Компоновачна схема масиву відходів, що являє собою звалищні ґрунти об'ємом V масою G .

На початковому етапі вологість масиву відходів на полігоні ТПВ залежить від співвідношення окремих його компонентів, а також від умов короткочасного зберігання в місцях їх попереднього видалення (в збірниках на майданчику або в закритих контейнерах, приміщеннях, захищених від атмосферних опадів).

Вміст вологи є непрямим показником морфологічного складу відходів [221]. В таблиці 2.2 наведена вологість окремих компонентів ТПВ.

Таблиця 2.2.

Значення вологості окремих компонентів ТПВ.

Найменування компоненту ТПВ	Вологість, %
Харчові відходи	72
Рослинні відходи	60
Папір	25
Деревина	20
Текстиль	20
Відсів	20
Зола, шлак	10
Пластмаса	8
Шкіра, гума	5
Метали	3
Скло	2

ТПВ містять в собі первинну надлишкову вологість, яка знаходиться у зв'язаному та вільному стані. Зв'язана, або гігроскопічна, рідина знаходиться в клітинних стінках фракцій ТПВ та утримується міцно. Вільна, або капілярна, рідина – в порожнинах клітин й міжклітинних просторах, тому видаляється порівняно легко.

Під час експлуатації полігону ТПВ в масиві відходів розвивається питома поверхня техногенний ґрунтів з переважанням капілярно-поверхневої та поверхневої форми вологи. Для капілярної форми вологи залежність тиску від температури визначається рівнянням:

$$\frac{\partial P_v}{\partial T} = \frac{P}{\sigma} \cdot \frac{d\sigma}{dT}, \quad (2.19)$$

де P_v – тиск ґрунтової вологи, Н/м²; σ – поверхневий натяг води, Н/м.

Вологість масиву відходів w , % з рисунка 2.4 визначається:

$$w = \frac{G - G_{m\delta}}{G_{m\delta}} \cdot 100\% = \frac{G_w}{G_{m\delta}} \cdot 100\%, \quad (2.20)$$

де G – загальна маса звалищного ґрунту, т; $G_{m\delta}$ – маса сухого звалищного ґрунту, т; G_w – маса води, т.

Коефіцієнт водонасичення характеризує ступінь заповнення пор водою:

$$S_r = \frac{w \cdot \rho_{m\delta}}{e \cdot \rho_w}, \quad (2.21)$$

де w – природна вологість, %; e – коефіцієнт пористості; $\rho_{m\delta}$ – щільність часток звалищного ґрунту, т/м³; ρ_w – щільність води, т/м³.

Від вологості залежать фізико-механічні властивості звалищних ґрунтів: при малій вологості масив знаходиться у твердому стані; зі збільшенням переходить в пластичний стан (зміна форми не викликає порушення цілісності); при подальшому збільшенні – в текучий стан.

З ростом вологості зчеплення C та кут внутрішнього тертя φ знижуються внаслідок ослаблення структурних зв'язків та впливу рідини на контакт частинок.

Вплив порового тиску на опір зсуву описується рівнянням [222]:

$$\tau = (\sigma - u) \cdot \operatorname{tg} \varphi + C, \quad (2.22)$$

де τ – величина дотичних напружень, кПа; σ – величина нормальних напружень, кПа; u – поровий тиск, кПа; φ – кут внутрішнього тертя звалищних ґрунтів; C – величина зчеплення ґрунтів, кПа.

Вологість є обов'язковим фактором для життєдіяльності багатьох мікроорганізмів, серед яких метаноутворюючі бактерії. Рівняння виходу біогазу при метановому бродінні описується залежністю [223]:

$$Q_m = 10^{-6} R \cdot (100 - w) \cdot (0,92Ж + 0,62В + 0,34Б), \quad (2.23)$$

$$w = 100 - \frac{Q_w}{10^{-6} R \cdot (0,92Ж + 0,62В + 0,34Б)}, \quad (2.24)$$

де Q_m – питома маса біогазу, кг/кг; w – середня вологість відходів, %; R – вміст органічною складовою у відходах, %; $Ж$ – вміст жироподібних речовин, %; $В$ – вміст вуглицевоподібних речовин, %; $Б$ – вміст білкових речовин, %.

Відповідно до удосконаленої моделі АКГ ім. Памфілова кількість біогазу з полігону ТПВ [224]:

$$Q = (1 - w) \cdot L_0 \cdot m \cdot \left(1 + \frac{k_1}{k_2 - k_1} \cdot e^{-k_1 \cdot \tau} - \frac{k_2}{k_2 - k_1} e^{-k_2 \cdot \tau}\right), \quad (2.25)$$

$$w = 1 - \frac{Q}{L_0 \cdot M \cdot \left(1 + \frac{k_1}{k_2 - k_1} \cdot e^{-k_1 \cdot \tau} - \frac{k_2}{k_2 - k_1} e^{-k_2 \cdot \tau}\right)}. \quad (2.26)$$

де L_0 – потенціал генерації метану при розкладанні органічної складової сухих відходів, м³/т; m – маса відходів на поточний рік експлуатації полігону, т; k_1 , k_2 – константи розкладання відходів в фазі ацетоногенеза та метаногенеза відповідно; t – час розкладання ТПВ, рік.

Виходячи з рівняння водного балансу полігону ТПВ [225], кількість рідини в масиві відходів Q^P визначається вхідними $Q_{\text{вх}}^P$ та вихідними потоками рідини $Q_{\text{вих}}^P$:

$$Q^P = Q_{\text{вх}}^P - Q_{\text{вих}}^P. \quad (2.27)$$

До складу вхідних потоків рідини $Q_{\text{вх}}^P$ входять: АО – атмосферні опади, ВВ – волога ТПВ; ПС – поверхневий стік води з прилеглих нагорних територій; Р – подача на поверхню відходів фільтрату для зволоження, рециркуляція фільтрату; З – технологічна подача води в пожежонебезпечний період; Інтр – інтрузія, надходження в масив відходів води з підземних горизонтів

$$Q_{\text{вх}}^P = (Q_{\text{АО}} + Q_{\text{ВВ}} + Q_{\text{ПС}} + Q_{\text{Р}} + Q_{\text{З}} + Q_{\text{Інтр}}). \quad (2.28)$$

До складу вихідних потоків рідини $Q_{\text{вих}}^P$ входять: ПС – поверхневий стік з полігону; БГ – втрати вологи з біогазом; БД – споживання води при біохімічному розкладанні; ВипВ – випаровування вологи з поверхні та транспірація рослинами; ВБВ – вбирання вологи відходами; ДР – відведення фільтрату дренажною системою; ПР – просочування в підземні горизонти; ПВ – зміна вологозапасу остаточного покриття

$$Q_{\text{вих}}^P = (Q_{\text{ПС}} + Q_{\text{БГ}} + Q_{\text{БД}} + Q_{\text{ВипВ}} + Q_{\text{ВБВ}} + Q_{\text{ДР}} + Q_{\text{ПР}} + Q_{\text{ПВ}}). \quad (2.29)$$

Фільтрація дощових та талих вод в порожнину водонасичених ґрунтів при ламінарному режимі руху підземних вод описується законом Дарсі:

$$Q^P = k_{\phi} \cdot A \cdot J, \quad (2.30)$$

де Q^P – кількість рідини, що фільтрується через поперечний переріз A в одиницю часу, м³/добу; k_ϕ – коефіцієнт фільтрації, м/добу; J – гідравлічний градієнт ($J = \frac{\Delta H}{l}$, ΔH – різниця напорів до довжини шляху фільтрації l , м).

На водопоглинення та водовіддачу звалищних ґрунтів впливає морфологічний склад, щільність захоронення відходів, присутність кисню, температура в масиві тощо. Якщо $Q_{вх}^P \gg Q_{вих}^P$, що характерно за умов великої кількості атмосферних опадів (рециркуляції фільтрату), при відмові поверхневого стоку з полігону, відведення фільтрату дренажною системою, відбувається надмірне накопичення рідини, збільшення порового тиску та питомої ваги звалищних ґрунтів – відповідні напруження спричиняють появу надлишкового тиску, збільшуються ймовірність зсувів.

Рішення окремої задачі з оцінки вологості звалищних ґрунтів описуються виразом (2.31):

$$\varphi_1 = f(Q_{вх}^P, Q_{вих}^P). \quad (2.31)$$

Відповідно шукане рішення окремої задачі з оцінки вологості звалищних ґрунтів являє собою аналітичну залежність, яка описує зв'язок вологості звалищних ґрунтів відповідно до варіації вхідних $Q_{вх}^P$ та вихідних потоків рідини $Q_{вих}^P$.

2.1.3. Рішення окремої задачі з оцінки щільності звалищних ґрунтів.

В рамках вирішення окремої задачі з оцінки щільності звалищних ґрунтів (φ_2) зазначимо наступне – масив відходів на полігоні ТПВ протягом свого життєвого циклу зазнає деформації, що протікає на трьох стадіях – початковій, первинній, вторинній. Початкова обумовлена розміщенням ТПВ на карті полігону, прикладанням зовнішнього навантаження за допомогою спеціальної

важкої техніки, та як наслідок ущільнення. Первинне просідання ε_1 є наслідком самовільного ущільнення під дією власної ваги. Вторинне просідання ε_2 враховує механічні процеси та біологічне розкладання органічної фракції відходів по багатокомпонентній моделі першого порядку [13]:

$$\varepsilon_2 = C_{a\varepsilon M} \cdot \log\left(\frac{t}{t_{OM}}\right) + \frac{\rho_d}{\rho_{s.oc}} \sum_{i=1}^n c_i \cdot f_i \cdot (1 - e^{-k_i(t-t_{OB})}), \quad (2.32)$$

де $C_{a\varepsilon M}$ – коефіцієнт вторинного механічного стиснення; ρ_d – щільність сухих відходів, кг/м³; $\rho_{s.oc}$ – щільність сухої твердої органічної речовини відходів, кг/м³; c_i – масова частка органічної біорозкладаємої речовини і-го компонента відходів, %; k_i – постійна швидкість утворення метану і-го компонента відходів, 1/рік; f_i – вміст і-го компонента відходів, %; t – час, рік; t_{OM} – час закінчення первинного просідання відходів, рік; t_{OB} – час початку газоутворення або час запізнювання, рік.

Щільність масиву відходів (рисунок 2.4) описується рівнянням:

$$\rho = \frac{G_{m\varepsilon} + G_w}{V_{m\varepsilon} + V_n} = \frac{G}{V}. \quad (2.33)$$

Щільність скелету масиву відходів ρ_d (т/м³) виражається через щільність ρ та вологість w (%) масиву відходів:

$$\rho_d = \frac{G_{m\varepsilon}}{V_{m\varepsilon} + V_n} = \frac{G_{m\varepsilon}}{V} = \frac{\rho}{1 + 0,01 \cdot w}. \quad (2.34)$$

Пористість та коефіцієнт пористості визначаються з виразів відповідно:

$$n = \frac{V_n}{V_n + V_{m\epsilon}}, \quad (2.35)$$

$$e = \frac{V_n}{V_{m\epsilon}} = \frac{\rho_{m\epsilon} - \rho_d}{\rho_d} = \frac{\rho_{m\epsilon}}{\rho_d} - 1 = \frac{\rho_{m\epsilon}(1+w)}{\rho} - 1 \quad (2.36)$$

Окремі компоненти відходів мають різну початкову щільність [221] (табл. 2.3).

Таблиця 2.3.

Значення середньої щільності окремих компонентів ТПВ.

Найменування компоненту ТПВ	Середня щільність, т/м ³
Папір, картон	0,06–0,09
Харчові відходи	0,3–0,5
Деревина	0,17–0,19
Метали	0,18–0,38
Кістки	0,44–0,49
Шкіра, гума	0,25–0,5
Текстиль	0,18–0,25
Скло	0,4–0,5
Зола, шлак	0,9–0,13
Каміння	1,1–1,4
Пластмаса	0,12–0,18
Відсів	0,3–0,6

Ущільнення відходів супроводжується стисненням твердих часток, води та повітря, що знаходяться в порах, між компонентами відходів, руйнуванням зв'язків між частками і їхнім взаємним зміщенням, та віджиманням вільної води. Ущільнюють відходи на полігоні за допомогою спеціальної важкої техніки (бульдозерами, катками, компакторами) – в залежності від кількості проїздів, щільність їх досягає порядку 1 т/м³. Навантаження силою P (МПа),

що діють на площу поперечного перерізу масиву A (м^2), викликають стискальне напруження σ (МПа) в масиві відходів:

$$\sigma = \frac{P}{A}. \quad (2.37)$$

Оскільки площа поверхні масиву відходів на багато більша за схили боковим розширенням можна знехтувати, зміна щільності $\Delta\rho$ під тиском P знаходиться з виразу:

$$\Delta\rho = \frac{S_i A}{hA} = \frac{S_i}{h}, \quad (2.38)$$

де S_i – осідання від тиску P_i , h – висота складування відходів, м. Висота h залежить від проектно-експлуатаційних рішень.

Коефіцієнт пористості e_i при тиску P_i :

$$e_i = e_0 - \frac{S_i(1 + e_0)}{h}. \quad (2.39)$$

Зміна коефіцієнта пористості Δe_i ($\Delta e_i = e_0 - e_i$) під тиском P_i :

$$\Delta e_i = \frac{S_i(1 + e_0)}{h}. \quad (2.40)$$

Ущільнення у разі збільшення навантаження відбувається за нелінійним законом. Проте в деякому діапазоні ущільнювального тиску криволінійний характер залежності $e_i - P_i$ можна апроксимувати прямою лінією АВ (рисунок 2.5).

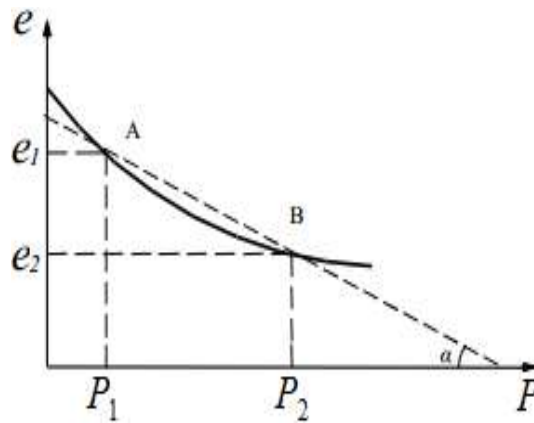


Рисунок 2.5. Схема визначення коефіцієнта стисливості.

Рівняння прямої АВ має вид:

$$e_i = e_0 - P_i \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (2.41)$$

Величина $\operatorname{tg} \alpha$ характеризує стисливість ґрунту в межах зміни тиску від P_1 до P_2 , тому її називають коефіцієнтом стисливості m_0 :

$$m_0 = \operatorname{tg} \alpha = \frac{e_1 - e_2}{P_2 - P_1}. \quad (2.42)$$

Рішення окремої задачі з оцінки щільності звалищних ґрунтів описуються виразом (2.43):

$$\varphi_1 = f(P, n, h). \quad (2.43)$$

Відповідно шукане рішення окремої задачі з оцінки щільності звалищних ґрунтів являє собою аналітичну залежність, яка описує зв'язок щільності масиву відходів відповідно до варіації фізичних параметрів – сили навантаження P , пористості n , висота складування відходів h .

2.1.4. Рішення окремої задачі з оцінки температури звалищних ґрунтів. В рамках вирішення окремої задачі з оцінки рівня температури звалищних ґрунтів (φ_3) зазначимо наступне – масив відходів полігону ТПВ характеризується теплофізичними властивостями: щільністю ρ , теплопровідністю λ та теплоємністю c . Зазначені властивості пов'язані коефіцієнтом температуропровідності a , який в свою чергу характеризує швидкість зміни температури:

$$a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho}. \quad (2.44)$$

На початковому етапі формування масиву його температура залежить саме від температури завезених ТПВ, їх теплопровідності та теплоємності, температури навколишнього середовища. Теплофізичні властивості ТПВ в залежності від морфологічного складу [221] наведені в таблиці 2.4.

Таблиці 2.4.

Теплофізичні властивості ТПВ.

Компонент	Теплопровідність, кал/(см·с·°С)	Теплоємність, ккал/кг
Папір	144–308·10 ⁻⁶	3390
Харчові відходи	130·10 ⁻⁶	890
Дерево	120·10 ⁻⁶	3410
Метал	0,136	49
Скло	400–470·10 ⁻⁶	23
Гума	500·10 ⁻⁶	5670
Каміння	2629·10 ⁻⁶	23
Текстиль	95–120·10 ⁻⁶	3460

Процес біохімічного розкладання органічної складової відходів супроводжується зміною температури масиву. В умовах анаеробного розкладання виділяється велика кількість тепла, що веде до самонагрівання внутрішніх шарів масиву полігону та підсилює біохімічне розкладання. В мірі ущільнення, ізолювання ґрунтом посилюються анаеробні процеси з утворенням метану та значно меншим виділенням тепла. При певних умовах швидкість виділення тепла реакції окислення горючих речовин може перевищувати швидкість втрати тепла, що призводить до безперервного збільшення температури речовини і його займання.

Теплове навантаження в масиві відходів змінюється з часом та викликає зміни внутрішньої енергії.

$$Q_{ex}^T + Q_{ген}^T - Q_{відводу}^T = Q_{накоп}^T. \quad (2.45)$$

Процес перенесення тепла в масиві описується законом Фур'є. Для функції Q трьох просторових перемінних (x, y, z) та часу t , рівняння теплопровідності має вид:

$$\frac{\partial T}{\partial t} - a \cdot \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) = Q(x, y, z, t), \quad (2.46)$$

При певних умовах швидкість виділення тепла в масиві відходів може перевищувати швидкість відводу тепла, що призводить до безперервного збільшення температури та займання горючої складової ТПВ, як наслідок вигорання, утворення пустот та втрата стійкості масиву.

Температура масиву відходів впливає на процес розкладання відходів – утворення біогазу. Питомий вихід біогазу Q_B (m^3/t), що утворюється з 1 т відходів однорідного складу за час t (рік) відповідно до методики Табасарана-Реттенберґера оцінюється з виразу:

$$Q_B = 1,868 \cdot C_0 \cdot (0,014 \cdot T + 0,028) \cdot (1 - 10^{-kt}), \quad (2.47)$$

$$T = \frac{\left(\frac{Q_B}{1,868 \cdot C_0 \cdot (1 - 10^{-kt})} - 0,028 \right)}{0,014}, \quad (2.48)$$

де C_0 – вміст органічного вуглецю; T – температура у товщі масиву відходів, $^{\circ}\text{C}$; k – константа розкладання, що дорівнює відношенню кількості вуглецю до загального азоту, C/N ; t – час з моменту захоронення відходів, рік.

Рішення окремої задачі з оцінки температури звалищних ґрунтів описуються виразом (2.49):

$$\varphi_3 = f(Q_{\text{nid}(\text{ген})}^T, Q_{\text{від}}^T). \quad (2.49)$$

Відповідно шукане рішення окремої задачі з оцінки температури звалищних ґрунтів являє собою аналітичну залежність, яка описує зв'язок температури звалищних ґрунтів відповідно до варіації кількості тепла що підводиться або генерується $Q_{\text{nid}(\text{ген})}^T$ та відводиться $Q_{\text{від}}^T$ з масиву звалищних ґрунтів, та є фактичним рівнянням температурного балансу.

2.1.5. Рішення окремої задачі з оцінки небезпеки зсувного масиву звалищних ґрунтів. В рамках вирішення окремої задачі з оцінки небезпеки зсувного масиву звалищних ґрунтів (φ_4) зазначимо наступне – рівень небезпеки зсувного масиву визначається в залежності від:

- об'єму зсувних мас звалищних ґрунтів;
- швидкість переміщення звалищних ґрунтів;
- траєкторії, за якими будуть рухатися звалищні ґрунти, або відстань переміщення.

В інерційній системі відліку основним рівнянням динаміки матеріальної точки є другий закон Ньютона:

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{F}, \quad (2.50)$$

де \vec{F} – сума всіх сил, що діють на матеріальну точку та обумовлених взаємодією з іншими тілами.

Якщо маса змінюється в процесі руху внаслідок відділення або приєднання речовини, застосовують рівняння Мещерського:

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{F} + \mu \vec{u}, \quad (2.51)$$

де \vec{u} – швидкість руху речовини, що приєдналась (або відділилась) відносно розглядаємого тіла; μ – швидкість зміни маси тіла, що рухається, $\mu = \frac{dm}{dt}$.

Коли час дії сили τ дуже малий, що пов'язано з ударами, відбуваються кінцеві зміни стану, рівняння динаміки має вид:

$$F \cdot \tau = \Delta p = \Delta(m \cdot v), \quad (2.52)$$

де Δp – зміна імпульсу.

ЛЕТУ внаслідок втрати стійкості схилу масиву звалищних ґрунтів на зсув зазнає навантаження та впливу епізодичного характеру. Розглянемо дію сил на окремий відсік зсувного масиву відходів (рисунок 2.6).

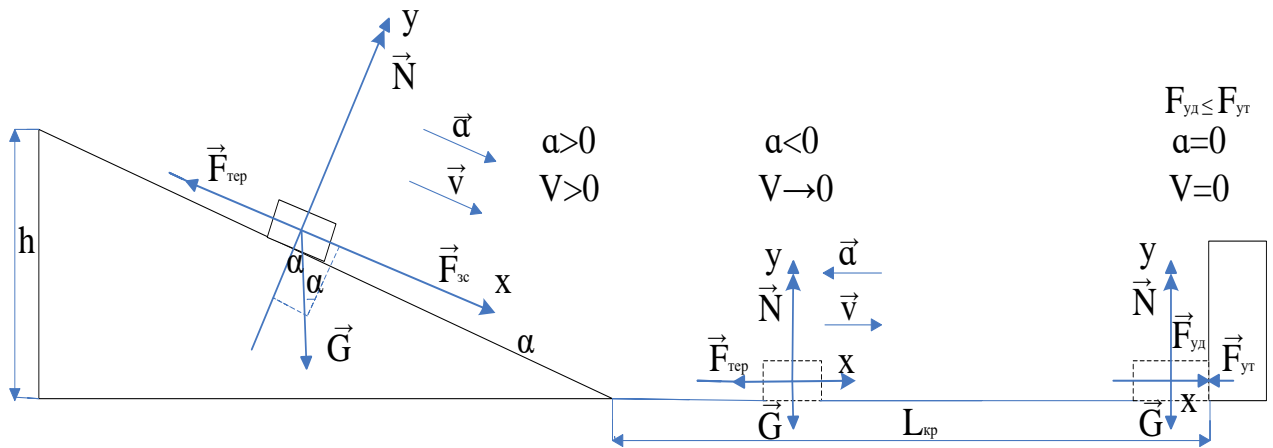


Рисунок 2.6. Дія сил на окремий відсік зсувного масиву звалищних ґрунтів.

Рухливість поверхні зсувного схилу визначається крутизною схилу, кутом внутрішнього тертя, зчепленням та масою. Виходячи з рисунка 2.6 маємо достатні умови початку руху поверхні схилу:

$$m \cdot g \cdot \sin \alpha \geq F_{\text{тер}}. \quad (2.53)$$

Відомо, що:

$$m \cdot g \cdot \sin \alpha - F_{\text{тер}} = m \cdot a; \quad m \cdot g \cdot \cos \alpha = \sigma, \quad (2.54)$$

де a – прискорення зсувної маси; σ – тиск зсувної маси на схил (нормальне напруження).

Сила тертя зчеплення становить:

$$F_{\text{тер}} = \tau = m \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot \text{tg} \varphi + C. \quad (2.55)$$

Підставимо рівняння (2.55) в рівняння (2.54), отримаємо силу зсуву $F_{\text{зс}}$:

$$F_{\text{зс}} = m \cdot a = m \cdot g \cdot \sin \alpha - m \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot \text{tg} \varphi - C. \quad (2.56)$$

Вираз (2.56) скоротимо на масу m та отримаємо прискорення a :

$$a = g \cdot \sin \alpha - g \cdot \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi - \frac{C}{m}. \quad (2.57)$$

Під час руху зсувного масиву по нахильній поверхні, прискорення $a > 0$, набирає максимальну швидкість та через деякий час зупиняється.

Швидкість зміщення поверхні зсувного схилу (або початкова швидкість) описується виразом:

$$v_0 = \frac{\gamma_w}{\eta} \cdot \left(\left(h(h-d) - \frac{(h-d)^2}{2} \right) \cdot (\sin \alpha - \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi) - \frac{C}{\eta} \cdot (h-d) \right) \quad (2.58)$$

де γ_w – об’ємна маса зсувного звалищного ґрунту, т/м³; η – коефіцієнт динамічної в’язкості; h – потужність шару зсуву; d – потужність мертвої зони,

$d = \frac{1}{\gamma_w} \cdot \left(\frac{C}{\sin \alpha - \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi} \right)$; α – кут нахилу поверхні ковзання розрахункового блоку до горизонту; φ – кут внутрішнього тертя звалищних ґрунтів; C – величина зчеплення ґрунтів.

Відповідно до теореми про кінетичну енергію, механічна робота виконана над зсувним відсіком масиву звалищних ґрунтів $\sum A(F_k^e)$ описується рівнянням:

$$T_{\text{кін}} - T_{\text{поч}} = \sum A(F_k^e) \quad (2.59)$$

де $T_{\text{кін}} = \frac{m \cdot v^2}{2}$ – кінцева кінетична енергія; $T_{\text{поч}} = \frac{m \cdot v_0^2}{2}$ – початкова кінетична енергія.

По похилій поверхні (рисунок 2.6) довжиною l механічна робота визначається:

$$\begin{aligned}\sum A(F_{\text{тер}}) &= -m \cdot g \cdot l \cdot \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi + C, \\ \sum A(G) &= m \cdot g \cdot l \cdot \sin \alpha\end{aligned}\quad (2.60)$$

По горизонтальній поверхні (рисунок 2.6) довжиною L механічна робота визначається силою тертя та швидкістю.

Траєкторія руху точки зсувного масиву у просторі за деякий проміжок часу описується системою рівностей:

$$\begin{cases} \Delta X_{ij} = X_j - X_i \\ \Delta Y_{ij} = Y_j - Y_i \\ \Delta H_{ij} = H_j - H_i \end{cases}, \quad (2.61)$$

де ΔX_{ij} , ΔY_{ij} , ΔH_{ij} – зміщення точки за деякий проміжок часу Δt (i – попередній цикл, j – поточний цикл); X_i , Y_i , H_i , X_j , Y_j , H_j – координати точки попереднього та поточного циклів спостережень.

Просторове переміщення виражається формулою:

$$\Delta L_{ij} = \sqrt{\Delta X_{ij}^2 + \Delta Y_{ij}^2 + \Delta H_{ij}^2}, \quad (2.62)$$

Середня швидкість та прискорення у просторі відповідно знаходяться з виразів:

$$v_{ij}(\Delta L_{ij})_{cp} = \frac{\Delta L_{ij}}{t_{ij}}, \quad (2.63)$$

$$a(\Delta L_{ij}) = \frac{(\Delta L_{ij})_{cp}}{\Delta t_{ij}}, \quad (2.64)$$

З урахуванням розглянутих фізичних умов попередження поширення НС (обмеження наслідків небезпеки) доцільно розглядати критичну відстань між схилом зсувного масиву звалищних ґрунтів до ЛЕТУ $L_{кр}$ на яку може переміститись масив та завдати небезпечного впливу. Умовою безпеки є рівняння (2.65):

$$L \leq L_{кр}, \quad (2.65)$$

де L – фактична відстань від схилу масиву звалищних ґрунтів до ЛЕТУ.

Рішення окремої задачі з оцінки небезпеки зсувного масиву звалищних ґрунтів описується виразом (2.66):

$$\varphi_4 = f(V_{zc}, v_{zc}, L_{zc}), \quad (2.66)$$

де V_{zc}, v_{zc}, L_{zc} – об'єм, швидкість, траєкторія переміщення зсувного масиву звалищних ґрунтів.

Відповідно шукане рішення окремої задачі з оцінки небезпеки зсувного масиву звалищних ґрунтів з урахуванням технологічних показників ЛЕТУ передбачає визначення об'єму зсувного масиву, його швидкості та траєкторії переміщення.

2.1.6. Опис розробленої математичної моделі попередження надзвичайних з урахуванням наявного ліквідаційного енергоємного технологічного устаткування. Процес попередження НС каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів описується системою рівнянь (2.18):

$$\begin{cases} q_1(w, \rho, T) = 0 \\ q_2(w, \rho, T) < q^{об}, \\ q_3(w, \rho, T) \leq q^{об} \end{cases}$$

де q_1 – кількість загиблих осіб; q_2 – кількість постраждалих осіб кількість осіб; q_3 – кількість осіб з порушенням умов життєдіяльності; $q^{об}$ – кількісні показники наслідків НС, що відповідають об'єктовому рівню; (w, ρ, T) – вологість, щільність, температура звалищних ґрунтів на полігоні ТПВ.

Умови розв'язання системи рівнянь (2.18) враховують варіацію вхідних параметрів вологості w вираз (2.67), щільності ρ вираз (2.68), температури T вираз (2.69):

$$w_{\min}^{ТПВ} \leq w(Q_{ex}^P, Q_{вих}^P) \leq w_{\max}^B, \quad (2.67)$$

де $w_{\min}^{ТПВ}$ – вологість звалищних ґрунтів, що відповідає мінімальному значенню вологості масиву полігону ТПВ з урахуванням умов навколишнього середовища; Q_{ex}^P – кількість рідини на вході в масив звалищних ґрунтів; $Q_{вих}^P$ – кількість рідини на виході з масиву звалищних ґрунтів; w_{\max}^B – вологість, що відповідає верхній межі утворення максимальної кількості метану у складі біогазу.

$$\rho_{\min}^{ТПВ} \leq \rho(P, n, h) \leq \rho_{\max}^{ТПВ}, \quad (2.68)$$

де $\rho_{\min}^{ТПВ}$ – щільність звалищних ґрунтів, що відповідає мінімальному значенню ущільнення масиву полігону ТПВ; P – сила ущільнення; h – висота масиву звалищних ґрунтів; $\rho_{\max}^{ТПВ}$ – максимальна щільність звалищних ґрунтів з часом деформації відходів.

$$T_{\min}^{ТПВ} \leq T(Q_{nid(zen)}^T, Q_{vid}^T) \leq T_{\max}^B, \quad (2.69)$$

де $T_{\min}^{ТПВ}$ – температура звалищних ґрунтів, що відповідає мінімальному значенню температури масиву полігону ТПВ з урахуванням умов навколишнього середовища; $Q_{nid(zen)}^T$ – кількості тепла, що підводиться або генерується внаслідок розкладання відходів; Q_{vid}^T – кількості тепла, що відводиться з масиву відходів; T_{\max}^B – температура, що відповідає верхній межі утворення максимальної кількості метану у складі біогазу.

З урахуванням розгляду фізичних умов попередження поширення НС з метою обмеження поширення наслідків небезпеки доцільно розглядати критичну відстань між схилом зсувного масиву звалищних ґрунтів до ЛЕТУ $L_{кр}$ на яку може переміститись зсувний масив (2.65):

$$L \leq L_{кр},$$

де L – фактична відстань від схилу масиву звалищних ґрунтів до ЛЕТУ.

Формалізація вказаних параметрів призводить до вирішення чотирьох окремих задач. Перша задача включає оцінку вологості звалищних ґрунтів. Рішення задачі φ_1 являє собою аналітичну залежність, яка описує зв'язок вологості звалищних ґрунтів відповідно до варіації вхідних $Q_{вх}^P$ та вихідних потоків рідини $Q_{вих}^P$.

Друга задача включає оцінку щільності звалищних ґрунтів. Рішення задачі φ_2 являє собою аналітичну залежність, яка описує зв'язок щільності масиву відходів відповідно до варіації фізичних параметрів – сили навантаження P , пористості n , висота складування відходів h .

Третя задача включає оцінку температури звалищних ґрунтів. Рішення задачі φ_3 являє собою аналітичну залежність, яка описує зв'язок температури

звалищних ґрунтів відповідно до варіації кількості тепла що підводиться або генерується $Q_{nid(\text{ген})}^T$ та відводиться $Q_{від}^T$ з масиву звалищних ґрунтів, та є фактичним рівнянням температурного балансу.

Четверта задача включає оцінку небезпеки зсувного масиву звалищних ґрунтів. Рішення задачі φ_4 передбачає визначення об'єму зсувного масиву $V_{зс}$, його швидкості $v_{зс}$ та траєкторії переміщення $L_{зс}$.

Наслідки НС q_1, q_2 , пов'язані умовою вибору варіації рішень окремих задач з оцінки фізичних властивостей звалищних ґрунтів, як-то вологість, щільність, температура, та небезпеки зсувного масиву з урахуванням технологічних показників ЛЕТУ, яка описується рівнянням (2.70):

$$\Psi(q_1, q_2) = f_{q_1, q_2}(\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4), \quad (2.70)$$

З огляду на вище зазначене, шукана математична модель уявляє собою систему рівнянь (2.72). Математична модель має рішення з урахуванням початкових та граничних умов її існування (2.71)

$$\begin{cases} w_{\min}^{ТПБ} \leq w(Q_{вх}^P, Q_{вих}^P) \leq w_{\max}^B; \\ \rho_{\min}^{ТПБ} \leq \rho(P, n, h) \leq \rho_{\max}^{ТПБ}; \\ T_{\min}^{ТПБ} \leq T(Q_{nid(\text{ген})}^T, Q_{від}^T) \leq T_{\max}^B; \\ L \leq L_{кр}. \end{cases} \quad (2.71)$$

$$\begin{cases} q_1(w, \rho, T, L) = 0; \\ q_2(w, \rho, T, L) < q^{об}; \\ q_3(w, \rho, T, L) \leq q^{об}; \\ \Psi(q_1, q_2) = f_{q_1, q_2}(\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4). \end{cases} \quad (2.72)$$

Таким чином, математична модель попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів

на полігоні твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням, що уявляє собою систему з чотирьох аналітичних залежностей. Перша аналітична залежність описує залежність кількості загиблих осіб від фізичних властивостей звалищних ґрунтів, як-то вологість, щільність, температура, та технологічних показників ліквідаційного енергоємного технологічного устаткування. Друга описує залежність кількості постраждалих від фізичних властивостей звалищних ґрунтів, як-то вологість, щільність, температура, та технологічних показників ліквідаційного енергоємного технологічного устаткування. Третя описує залежність кількості осіб з порушенням умов життєдіяльності від фізичних властивостей звалищних ґрунтів, як-то вологість, щільність, температура, та технологічних показників ліквідаційного енергоємного технологічного устаткування. Четверта дозволяє визначити умови відсутності постраждалих та жертв, як наслідків надзвичайної ситуації першого рівня пріоритетності, в залежності від варіації рішень окремих задач з оцінки фізичних властивостей звалищних ґрунтів, та небезпеки зсувного масиву з урахуванням технологічних показників ліквідаційного енергоємного технологічного устаткування. Умовою існування наведеної математичної моделі є набір початкових та граничних умов не переростання наслідків надзвичайної ситуації за межі об'єктового рівня поширення небезпеки з урахуванням отримання максимальної кількості метану у складі біогазу.

2.2. Методика попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів на полігоні твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням

Відповідно до розробленої математичної моделі в розділі 2.1 керуючий алгоритм її реалізації в практичній діяльності складається з двох рівнів [226].

I рівень – процедури з визначення області ефективних рішень щодо вибору значень фізичних властивостей звалищних ґрунтів з метою не допустити зсуву. На цьому етапі визначається фактичний коефіцієнт стійкості схилу масиву звалищних ґрунтів на зсув з врахуванням взаємовпливу вологості, щільності, температури.

II рівень – процедури з визначення небезпеки зсувного масиву з урахуванням технологічних показників ЛЕТУ з метою обмеження поширення наслідків небезпеки зсуву звалищних ґрунтів. На цьому етапі визначається критична відстань між схилом зсувного масиву звалищних ґрунтів до ЛЕТУ. Якщо фактична відстань менше критичної необхідно розглядати заходи зі зміни об'єму зсувного масиву, його швидкості та траєкторії переміщення.

Наведений керуючий алгоритм на рисунку 2.7. складається з аналітичних блоків, які розміщені на двох відповідних рівнях та пов'язані між собою прямими та зворотними зв'язками.

Беручи до уваги прагнення отримати максимальну кількість метану у складі біогазу під час експлуатації полігону ТПВ, на початку застосування керуючого алгоритму, розглядається рівність фізичних показників області ефективних рішень щодо метаногенерації (середнє їх значення) та область фактичних (наявних). При цьому, якщо опір масиву відходів на зсув перевищує або дорівнює зсувному зусиллю, можна стверджувати про безпечну експлуатацію об'єкту.

Як було відмічено в 1 розділі до основних факторів метаногенерації належать температура в межах 30–40°C, вологість в межах 60–80 %. Додатковим фактором є щільність, яка змінюється в досить широкому діапазоні. Необхідно враховувати стан умови – чим вище щільність, тим менше газу утворюється [22, 227].

Якщо коефіцієнт стійкості масиву відходів на зсув менше ніж 1, необхідно розглядати заходи щодо підвищення опору на зсув на основі вирішення окремих задач з оцінки вологості, щільності, температури масиву звалищних ґрунтів з урахуванням взаємовпливу фізичних властивостей [228]. Наприклад, зменшення вологості може призвести до збільшення температури та збільшення щільності тощо.

Реалізація методики передбачає виконання ряду груп робіт на різних етапах з попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу поширення [229], пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів: до та після факту переміщення зсувного масиву.

До факту переміщення зсувного масиву звалищних ґрунтів.

Група робіт, що пов'язана з проектуванням та будівництвом об'єкту суб'єктами підприємницької діяльності у галузі будівництва незалежно від форм власності. Зміст визначений ДБН В.2.4-2-2005 «Полігони твердих побутових відходів. Основні положення проектування» [19]. На всіх етапах вибору сприятливих земельних ділянок під розміщення основних елементів полігону ТПВ (під'їзної дороги, ділянки складування, господарської зони, інженерних споруд і комунікацій, ЛЕТУ), їх проектування та будівництва необхідно керуватися положеннями чинного законодавства, що направлено на забезпечення довговічності та безпеки об'єкту в цілому.

Група робіт, що пов'язана з експлуатацією об'єкту фахівцями операторами на основі ефективних рішень окремих задач з оцінки фізичних властивостей звалищних ґрунтів.

До робіт з забезпечення стійкості схилів звалищних ґрунтів на зсув відноситься:

- контроль морфологічного складу, температури, вологості відходів, що поступають на захоронення;
- контроль обсягів приймання та накопичення відходів;

- дотримання технології складування відходів (обмеження інтрузії повітря за рахунок належного ущільнення, своєчасного проміжного або фінального покриття);

- дотримання операцій по заповненню полігону. Плани заповнення повинні бути засновані на прогнозі розміщення відходів та забезпечувати ефективну установку системи збору біогазу на окремих картах полігону в міру їх заповнення з метою зниження пожежовибухонебезпеки;

- контроль геометричної форми ділянки та допустимої висоти складування відходів.

Схили полігону не повинні перевищувати співвідношення 3:1 (3 горизонталі та 1 вертикалі), рисунок 2.8.

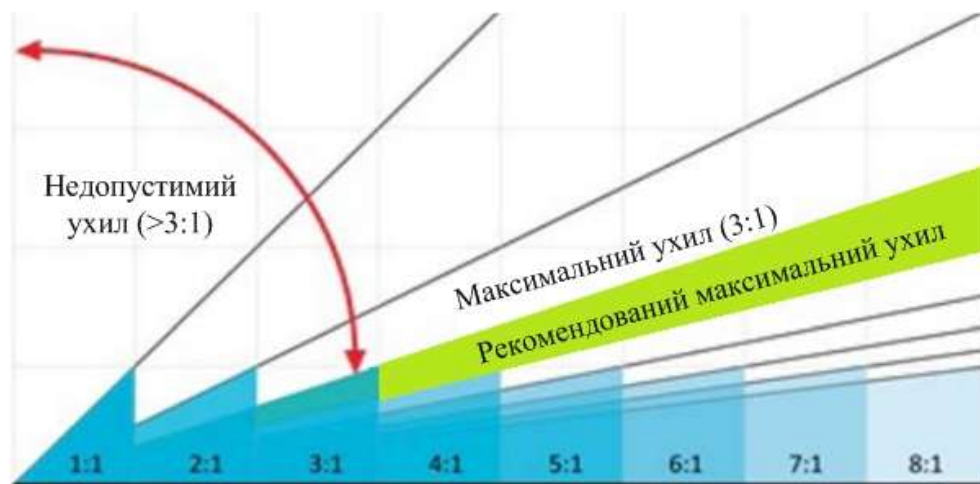


Рисунок 2.8. Рекомендації щодо влаштування схилів на полігоні ТПВ.

- контроль внутрішньої температури, вологості масиву відходів, концентрації окису вуглецю в біогазі.

Контроль загорянь (поява відкритого полум'я, диму, просадки й тріщини поверхні, утворення отворів).



Рисунок 2.13. Ознаки пожежної небезпеки на полігоні ТПВ.

– перерозподіл об'єму геотехнічного масиву – зменшення крутизни схилу за допомогою зрізання активної ділянки тіла зсуву й укладкою його в зоні виступу або у підніжжя, терасування схилів, укосів, розсічення зсувного масиву на блоки;

– регулювання поверхневого стоку – перехват, прискорення або уповільнення стоку за рахунок обвалування, влаштування каналів (канав), лотків, гряд, гребенів тощо, рисунок 2.9;



Рисунок 2.9. Регулювання поверхневого стоку.

– зниження інфільтрації атмосферних опадів – ущільнення поверхні, посів багатолітніх трав, використання геосинтетичних рулонних матеріалів (геокомпозитів, протиерозійних матів тощо, рисунок 2.10);



Рисунок 2.10. Покриття геосинтетичними рулонними матеріалами.

– укріплення схилів – влаштування протизсувних, утримуючих конструкцій (палів, підпирних стін, анкерних конструкцій тощо, рисунок 2.11, висадження чагарникової рослинності);



Рисунок 2.11. Влаштування протизсувних, утримуючих конструкцій.

- утримання споруд та об'єктів інженерного захисту в належному технічному стані;
- штучна зміна фізико-механічних властивостей звалищних ґрунтів за допомогою використання глибинних методів на основі нагнітання під тиском ін'єкційних розчинів (цементация, глинізація, бітумізація, силікатизація) та поверхневих методів (геосіток, георешіток тощо, рисунок 2.12);



Рисунок 2.12. Використання геосіток, георешіток.

Після факту переміщення зсувного масиву звалищних ґрунтів.

Група робіт, що пов'язана з локалізацією та ліквідацією негативних наслідків зсуву фахівцями підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту (ОРС ЦЗ).

Система організації і зміст дій органів управління та підрозділів ОРС ЦЗ під час ліквідації наслідків НС та небезпечних подій визначені Статутом дій у надзвичайних ситуаціях органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту [230].

Особливість дій підрозділів ОРС ЦЗ під час ліквідації наслідків НС, пов'язаних зі зсувом, полягає у необхідності:

- проведення розвідки зони НС у цілодобовому режимі із залученням авіації, безпілотних літальних апаратів та інших технічних засобів;
- пошуку постраждалих, рятування людей, надання домедичної допомоги, організації психологічної допомоги і за необхідністю життєзабезпечення;
- зміну фізико-механічних властивостей звалищних ґрунтів;
- за необхідністю блокування роботи системи збору та утилізації біогазу;
- зміну швидкості, об'єму та траєкторії переміщення зсувного масиву;
- дотримання вимог щодо безпечного ведення рятувальних робіт у зонах руйнувань, ужиття рятувальниками додаткових заходів безпеки праці, забезпечення своєчасного надання допомоги постраждалим рятувальникам;
- утримання в постійній готовності резервних пошуково-рятувальних формувань до проведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт (АРІНР).

Під час розвідки зони НС встановлюються:

- характер і межі зони руйнувань;
- наявність, кількість, стан постраждалих;
- наявність небезпечних факторів, ступінь їхньої загрози постраждалим і рятувальникам;
- загроза подальшого руйнування – коефіцієнта стійкості – визначення температури, вологості, щільності звалищних ґрунтів;
- розташування в зоні НС ЛЕТУ, встановлення енергетичних показників вибухонебезпечності;
- наявність і стан шляхів евакуації постраждалих з небезпечної зони.

Під час організації розвідки на полігоні ТПВ з ЛЕТУ особливу увагу потрібно звертати на можливість загорянь, вибухів, що можуть спричинити подальше зниження міцності масиву відходів та стійкості схилів.

На основі даних розвідки проводиться оцінка обстановки, що включає:

- можливість проведення АРІНР наявними силами та засобами;

– необхідність залучення додаткових сил.

Під час проведення АРІНР з'ясовуються:

– місцезнаходження постраждалих (відмічається чітко видимими орієнтирами), за можливості з ними встановлюється зв'язок;

– стан постраждалих та необхідний обсяг надання домедичної та екстреної медичної допомоги;

– способи вилучення постраждалих.

Під час проведення АРІНР застосовуються такі методи ведення пошуку:

– візуальне обстеження постраждалої території пішим порядком, обльотом зони руйнування на вертольотах або з використанням безпілотних літальних апаратів, опитування очевидців та врятованих постраждалих;

– пошук з використанням пошукових собак (під час ведення пошуку таким методом не допускається відволікати собак сторонніми звуками, заходити у визначену зону пошуку та проводити будь-які інші роботи);

– тепловий метод полягає у визначенні місцезнаходження постраждалого за допомогою тепловізора;

– акустичний метод полягає у прослуховуванні завалів із застосуванням спеціальних приладів-геофонів;

– відстеження сигналів мобільних телефонів зниклих з використанням технічних засобів Служби безпеки України.



Рисунок 2.14. Пошукові роботи на полігоні ТПВ.

Постраждалих, які перебувають під завалами, деблокують за допомогою засобів малої механізації та шанцевого інструмента. При цьому необхідно в найкоротший строк забезпечити постраждалим доступ повітря, надання домедичної допомоги, евакуацію до закладів охорони здоров'я або у безпечні райони, заходи щодо психологічного забезпечення.

Інженерна техніка використовується під час виконання великих обсягів робіт та обмеження у часі для утворення траншей упоперек сходу зсуву та забезпечення деблокування людей.

Опираючись на інформацію щодо місця перебування зниклих осіб, структури і напрямку завалів ТПВ та безпеки проведення пошуково-рятувальних робіт, територія зсуву розподіляється на сектори першої та другої черги. Перша черга – найбільша ймовірність перебування в них зниклих людей та найбільш безпечні умови для проведення робіт. Друга черга – найменша ймовірність перебування зниклих людей та найбільш небезпечні умови для проведення пошуково-рятувальних робіт.

Група робіт, що пов'язана з усуненням небезпеки подальшого зсуву та стабілізацією роботи об'єкту. Зміст визначений ДБН В.2.4-2-2005 «Полігони твердих побутових відходів. Основні положення проектування» [19]. Більшість робіт направлена на відновлення природоохоронних систем [231]. Група робіт включає будівництво та (або) відновлення під'їзних доріг, систем збору та управління фільтратом, системи збору та контролю біогазу, а також базується на основі ефективних рішень окремих задач з оцінки фізичних властивостей звалищних ґрунтів та безпеки зсувного масиву з урахуванням технологічних показників ЛЕТУ – перерозподіл об'єму геотехнічного масиву, укріплення схилів, штучну зміну фізико-механічних властивостей звалищних ґрунтів.

Таким чином, методика попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів на полігоні твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням передбачає виконання груп робіт до та після

факту переміщення зсувного масиву, а саме: пов'язаних з проектуванням та будівництвом об'єкту; пов'язаних з експлуатацією об'єкту; пов'язаних з локалізацією та ліквідацією негативних наслідків зсуву; пов'язаних з усуненням небезпеки подальшого зсуву та стабілізацією роботи об'єкту.

Висновки по другому розділу

1. Математична модель попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів на полігоні твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням, що уявляє собою систему з чотирьох аналітичних залежностей. Перша аналітична залежність описує залежність кількості загиблих осіб від фізичних властивостей звалищних ґрунтів, як-то вологість, щільність, температура, та технологічних показників ліквідаційного енергоємного технологічного устаткування. Друга описує залежність кількості постраждалих від фізичних властивостей звалищних ґрунтів, як-то вологість, щільність, температура, та технологічних показників ліквідаційного енергоємного технологічного устаткування. Третя описує залежність кількості осіб з порушенням умов життєдіяльності від фізичних властивостей звалищних ґрунтів, як-то вологість, щільність, температура, та технологічних показників ліквідаційного енергоємного технологічного устаткування. Четверта дозволяє визначити умови відсутності постраждалих та жертв, як наслідків надзвичайної ситуації першого рівня пріоритетності, в залежності від варіації рішень окремих задач з оцінки фізичних властивостей звалищних ґрунтів, та небезпеки зсувного масиву з урахуванням технологічних показників ліквідаційного енергоємного технологічного устаткування. Умовою існування наведеної математичної моделі є набір початкових та граничних умов не переростання наслідків надзвичайної ситуації за межі об'єктового рівня поширення небезпеки з урахуванням отримання максимальної кількості метану у складі біогазу.

2. Методика попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів на полігоні твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням базується на керуючому алгоритмі який реалізує розроблену математичну модель та складається з аналітичних блоків, які розміщені на двох рівнях та пов'язані між собою прямими та зворотними зв'язками. Реалізація методики передбачає виконання груп робіт до та після факту переміщення зсувного масиву, а саме: пов'язаних з проектуванням та будівництвом об'єкту; пов'язаних з експлуатацією об'єкту; пов'язаних з локалізацією та ліквідацією негативних наслідків зсуву; пов'язаних з усуненням небезпеки подальшого зсуву та стабілізацією роботи об'єкту.

РОЗДІЛ 3

ПЕРЕВІРКА ДОСТОВІРНОСТІ РОЗРОБЛЕНОЇ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПОПЕРЕДЖЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ КАСКАДНОГО ТИПУ ПОШИРЕННЯ, ПОВ'ЯЗАНИХ ЗІ ЗСУВОМ ЗВАЛИЩНИХ ҐРУНТІВ НА ПОЛІГОНІ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ З ЛІКВІДАЦІЙНИМ ЕНЕРГОЄМНИМ ТЕХНОЛОГІЧНИМ УСТАТКУВАННЯМ ТА РОЗРОБЛЕНОЇ НА ЇЇ ОСНОВІ ВІДПОВІДНОЇ МЕТОДИКИ

Вирішувати третю задачу наукових досліджень будемо наступним чином: по-перше, опишемо лабораторну установку проведення експериментальних досліджень впливу фізичних властивостей звалищних ґрунтів на стійкість схилів та методику проведення експериментальних досліджень з її використанням; по-друге, проведемо експериментальні дослідження впливу фізичних властивостей звалищних ґрунтів на стійкість схилів; по-третє, проаналізуємо результати виконаних експериментальних досліджень з метою перевірки достовірності розроблених математичної моделі та методики попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів на полігоні твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням.

3.1. Лабораторна установка та методика проведення експериментальних досліджень впливу фізичних властивостей звалищних ґрунтів на стійкість схилів

3.1.1. Опис лабораторної установки та допоміжного устаткування.

Для дослідження впливу фізичних властивостей звалищних ґрунтів на стійкість схилів розроблено лабораторну установку (рисунок 3.1).

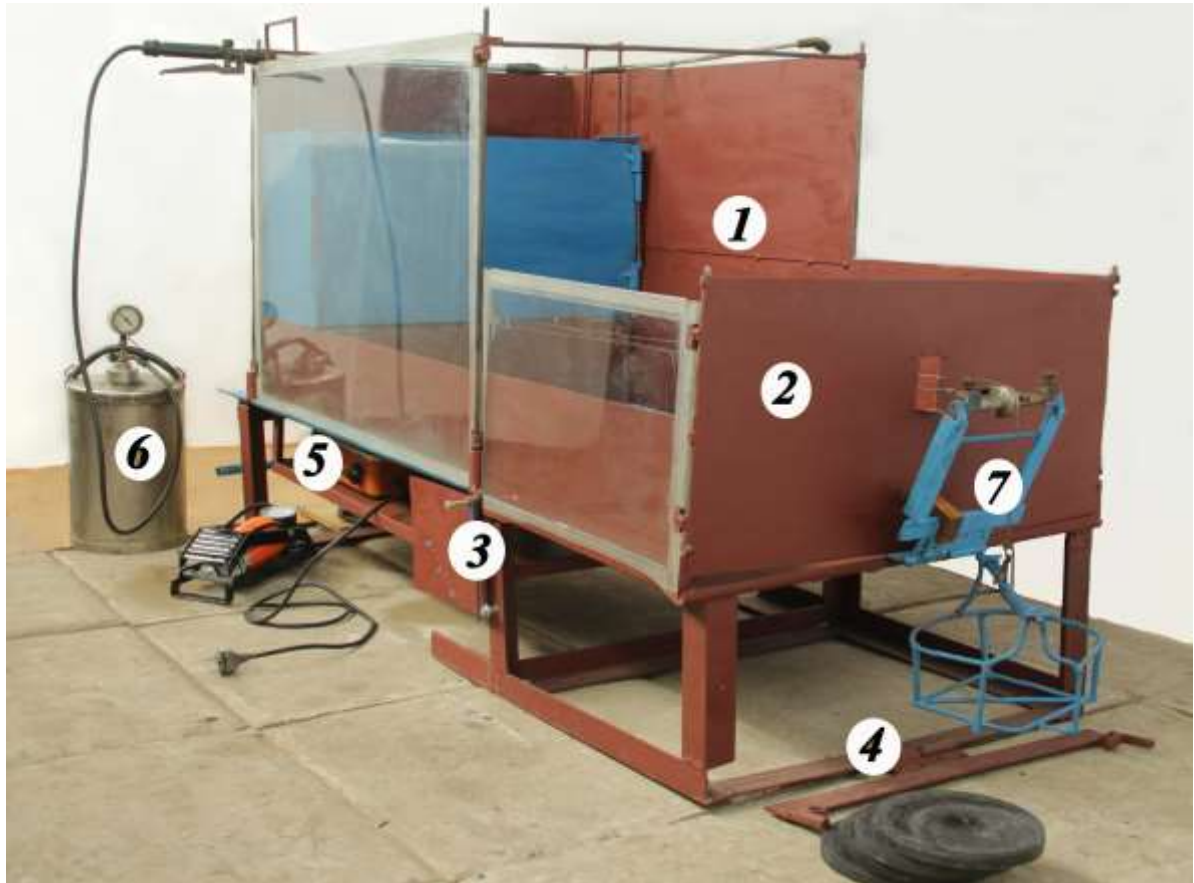


Рисунок 3.1. Лабораторна установка проведення експериментальних досліджень впливу фізичних властивостей звалищних ґрунтів на стійкість схилів.

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

Опишемо основні елементи лабораторної установки.

Експериментальний бокс (1, 2). Основа боксу виконана з листового заліза товщиною 3 мм габаритними розмірами 800x600x600 мм поворотної та 500x600x300 мм зафіксованої частин. На дні поворотної частини 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 окантованим силіконовими рейками.

Поворотний (3) та стопорний механізми (4). Поворотний механізм складається з петель, що кріплять між собою частини експериментального боксу, покажчика кута нахилу – транспортеру. Кут нахилу відтворюється за допомогою домкрату гідравлічного пляшкового 5 т 80-030 Міол 216-413 мм, який встановлюється на щит розмірами 40x120x400 мм. Стопорний механізм у вигляді тумби з якорем виконаних з залізного кутка 50x50мм та пластини розмірами 50x500 мм товщиною 5 мм.

Настільні плити підігріву (5). Для підігріву 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 градуйованим баком на 8 л експериментально досліджується вплив вологи на стан стійкості схилів на зсув звалищних ґрунтів. В дію обприскувач приводиться за допомогою створення надлишкового тиску ножним насосом. Надлишок рідини з боксу стікає до мірної ємності (на рисунку не показана).

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 до зсувного блоку, ціна ділення 0,01 мм, хід стрілки 10 мм.

До допоміжного устаткування належать: мінеральна вата, металеві прищіпки 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 Wiprex до 50 кг, III клас точності, металева формочка під зсувний блок розмірами 590x300x250 мм, ручна металева ступка, залізний градуйований щуп на 500 мм для роботи з експериментальним матеріалом [232, 233].

На рисунку 3.2 наведена конструкція металевої формочки та ручної ступки, які використовуються для формування зсувних експериментальних блоків та основи поверхні ковзання.

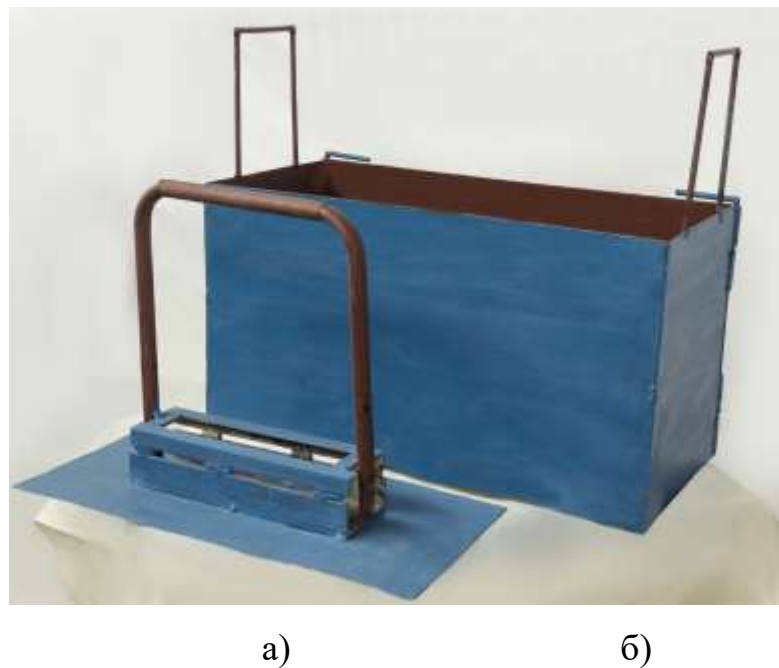


Рисунок 3.2. Конструкція допоміжного устаткування для формування дослідницьких зразків: а) ручна металева ступка б) металева формочка.

Виходячи з гіпотези, що за допомогою впливу на фізичні властивості звалищних ґрунтів можна попередити НС каскадного типу поширення,

пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів на полігоні ТПВ з ЛЕТУ (розділ 2), у якості основних вимог до установки було визначено 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 визначення кута внутрішнього тертя, питомого зчеплення звалищних ґрунтів. Враховуючи значну варіативність задачі, під час експериментальних досліджень відтворюються тільки загальні, принципово суттєві діючі фактори впливу та їх значення, які, враховуючи сформований план проведення експериментів, цілком забезпечують адекватне відтворення існуючих умов функціонування об'єкту дослідження.

3.1.2. Методика проведення експериментальних досліджень.

Проведення досліджень з використанням розробленої лабораторної установки (рисунок 3.1) базується на наступному припущенні – перехід зсувного експериментального блоку звалищних ґрунтів в динамічний стан будемо вважати настанням НС об'єктового рівня поширення.

Відповідно методика проведення експериментальних досліджень 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:

$$x_i = \frac{\tilde{x}_i - \tilde{x}_{i0}}{I_i}, \quad (3.1)$$

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 фізичних та механічних характеристик звалищних ґрунтів на відповідність експериментальної області факторного простору.

1.2.1) Температура експериментального матеріалу (звалищних ґрунтів) вимірюється за допомогою термометру (термоштанги) (рисунок 3.3).



Рисунок 3.3. Термометр: а) ртутний для ґрунту, б) електронний, в) біметалевий радіальний.

1.2.2) Вологість експериментального матеріалу вимірюється за допомогою тензіометру іригаційного (рисунок 3.4), вологоміру для ґрунту (рисунок 3.5) або методом висушування до постійної маси.



Рисунок 3.4. Тензіометр іригаційний AQUAMETER ECO, модель TS (науковий).



Рисунок 3.5. Вологомір ґрунту МГ-44.

Відповідно до ДСТУ Б В.2.1-17:2009 «Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи лабораторного визначення фізичних властивостей» [234] вологість визначають як відношення маси води, вилученої із ґрунту висушуванням до постійної маси, до маси висушеного ґрунту.

Вологість w у відсотках обчислюють за формулою:

$$w = \frac{100 \cdot (m_1 - m_0)}{m_0 - m}, \quad (3.2)$$

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

1.2.3) Щільність експериментального матеріалу вимірюється за допомогою щільноміру ґрунту (рисунок 3.6) або методом ріжучого кільця (рисунок 3.7).



Рисунок 3.6. Щільномір ґрунту «ЛАН-М».



Рисунок 3.7. Комплект ріжучих кільць-пробовідбірників.

Відповідно до ДСТУ Б В.2.1-17:2009 «Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи лабораторного визначення фізичних властивостей» [234] щільність визначається відношенням маси зразка ґрунту до його об'єму.

Щільність ρ г/см³ обчислюють за формулою:

$$\rho = \frac{(m_1 - m_0 - m_2)}{V}, \quad (3.3)$$

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).

1.2.4) Механічні характеристики або характеристики міцності експериментального матеріалу – кут внутрішнього тертя, питома зчеплення – вимірюються за допомогою методу одноплощинного зрізу.

Відповідно до ДСТУ Б В.2.1-4-96 (ГОСТ 12248-96) «Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи лабораторного визначення характеристик міцності і деформованості» [235] кут внутрішнього тертя φ та питома зчеплення C обчислюються за формулами:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{n \cdot \sum \tau_i \cdot \sigma_i - \sum \tau_i \cdot \sum \sigma_i}{n \cdot \sum (\sigma_i)^2 - (\sum \sigma_i)^2}, \quad (3.4)$$

$$C = \frac{\sum \tau_i \cdot \sum \sigma_i^2 - \sum \sigma_i \cdot \sum \tau_i \cdot \sigma_i}{n \cdot \sum (\sigma_i)^2 - (\sum \sigma_i)^2}, \quad (3.5)$$

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

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

$$\tau = \frac{X}{A}, \quad (3.6)$$

$$\sigma = \frac{N}{A}, \quad (3.7)$$

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 $\Delta l = f(\tau)$ (рисунок 3.8).

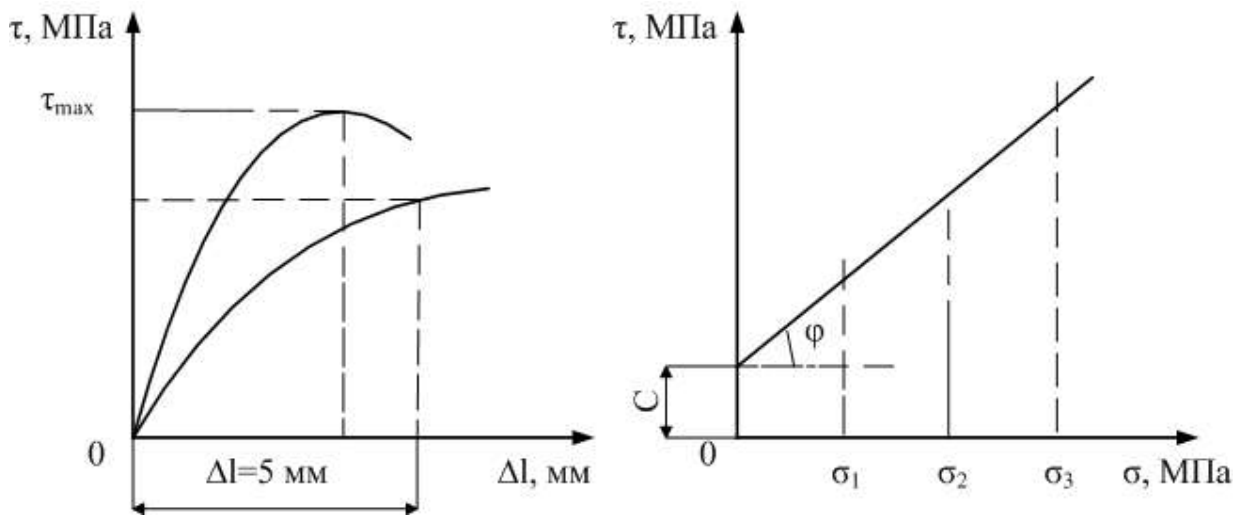


Рисунок 3.8. Графік залежності деформацій зрізу Δl від напруги τ : $\Delta l = f(\tau)$.

За опір ґрунту зрізу приймають максимальне значення τ , одержане за графіком $\Delta l = f(\tau)$ або діаграмою зрізу на відрізку 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 установки та експериментальних блоків.

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. Матеріал відбирається з карти об'єкту захоронення ТПВ (глибина не менше 3 м та давністю 15 років) та за необхідністю відсортовується від крупних фракцій розмірами більше 15x15 мм, й транспортується в поліетиленових мішках до лабораторної установки.

1.3.2) Формування горизонтальної поверхні зафіксованої частини експериментального боксу під розміщення макету ліквідаційного енергоємного технологічного устаткування.

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

$$m_{зс.б(н.к.)} = V_{\phi_i} \cdot \rho_i \quad (3.8)$$

Експериментальний матеріал зважують до визначеної маси, засипають до металевих формочок, встановлених на основу експериментального боксу. Ручною металевою ступкою шар за шаром утрамбується відповідною формою та заданою щільністю. Надалі формочки вилучаються з лабораторної установки.

1.4) Визначення розрахункових (мінімальних) витрат води на зволоження експериментального матеріалу. Розрахункові витрати води на зволоження менші за фактичні та визначаються виходячи зі співвідношення (3.9):

$$\begin{cases} w = \frac{m_p}{m_m} \cdot 100\% \\ m_{ек..м.} = m_p + m_m \end{cases}, \quad (3.9)$$

де m_p – маса рідини (кг); m_m – маса твердої фази (кг), $m_{ек..м.}$ – маса експериментального матеріалу.

2) Проведення серій експериментів.

Експериментальні дослідження впливу фізичних властивостей звалищних ґрунтів на стійкість схилів – визначення кута внутрішнього тертя, питомого зчеплення та кута зсуву зсувних експериментальних блоків за умов різної вологості, щільності та температури ($T_{рідини} = T_{прогр}$).

2.1) Формування дослідницьких зразків групи експериментів з початковою щільністю $\rho_{поч1}$, кг/м³ відповідно до пункту 1.3 та плану експериментальних досліджень.

2.1.1) Визначення температури $T_{поч}$, °С та вологості $w_{поч}$, % експериментального матеріалу. Данні занести до таблиці результатів експерименту.

2.1.2) Визначення кута внутрішнього тертя, питомого зчеплення експериментального матеріалу за допомогою системи циклічного навантаження на зсув, що створює дотичні та нормальні напруги. Данні занести до таблиці результатів експерименту.

2.1.3) Зміна кута нахилу поверхні ковзання за допомогою домкрату до моменту зсуву зсувного блоку. Значення кута зсуву зафіксувати на транспортірі поворотного механізму лабораторної установки та занести до таблиці результатів експерименту.

2.2) Формування дослідницьких зразків групи експериментів з початковою щільністю $\rho_{поч1}$, кг/м³ відповідно до пункту 1.3 та плану експериментальних досліджень.

2.2.1) Підвищення вологості зсувного блоку та основи поверхні ковзання до заданого значення w_1 за допомогою рівномірного обприскування підігрітою водою до заданої температури за умови $T_{ноч} = const$. Данні занести до таблиці експерименту.

2.2.2) Визначення кута внутрішнього тертя, питомого зчеплення експериментального матеріалу за допомогою системи циклічного навантаження на зсув, що створює дотичні та нормальні напруги. Данні занести до таблиці результатів експерименту.

2.2.3) Зміна кута нахилу поверхні ковзання за допомогою домкрату до моменту зсуву зсувного блоку. Значення кута зсуву зафіксувати на транспортірі поворотного механізму лабораторної установки та занести до таблиці результатів експерименту.

2.2.4) Циклічне повторення дій з пунктів 2.2 включно за різним значенням вологості w_i та $T_{ноч} = const$ відповідно до плану експериментальних досліджень.

2.3) Формування дослідницьких зразків групи експериментів з початковою щільністю $\rho_{ноч1}$, кг/м³ відповідно до пункту 1.3 та плану експериментальних досліджень.

2.3.1) Підвищення температури зсувного блоку та основи поверхні ковзання до T_i за допомогою настільних плит системи прогріву, регулюючи потужність та час прогріву, за умови $w_{ноч} = const$ (підтримуючи вологість). Для обмеження втрат тепла мінеральною ватою обгорнути нижню частину установки та зафіксувати металевими прищипками. При досягненні заданої температури T_i вимкнути та зняти плити з піддона.

2.3.2) Визначення кута внутрішнього тертя, питомого зчеплення експериментального матеріалу за допомогою системи циклічного навантаження на зсув, що створює дотичні та нормальні напруги. Данні занести до таблиці результатів експерименту.

2.3.3) Зміна кута нахилу поверхні ковзання за допомогою домкрату до моменту зсуву зсувного блоку. Значення кута зсуву зафіксувати на

транспортирі поворотного механізму лабораторної установки та занести до таблиці результатів експерименту.

2.3.4) Циклічне повторення дій з пунктів 2.2 по 2.3 включно за різним значенням температури T_i та $w_{ноч} = const$ відповідно до плану експериментальних досліджень.

2.4) Формування дослідницьких зразків групи експериментів з початковою щільністю $\rho_{ноч1}$, кг/м³ відповідно до пункту 1.3 та циклічне повторення дій з пунктів 2.1 по 2.3 включно відповідно до плану експериментальних досліджень.

Експериментальні дослідження впливу фізичних властивостей звалищних ґрунтів на стійкість схилів – визначення вологості, температури та щільності за фактом зсуву експериментальних блоків з урахуванням поступового наростання вологості ($w_{ноч} = 30\%$).

2.5) Формування дослідницьких зразків групи експериментів з початковою щільністю $\rho_{ноч1}$, кг/м³ відповідно до пункту 1.3 та плану експериментальних досліджень.

2.5.1) Визначення температури $T_{ноч}$, °С.

2.5.2) Зміна кута нахилу поверхні ковзання α за допомогою домкрату до моменту зсуву зсувного блоку відповідно до плану експериментальних досліджень.

2.5.3) Підвищення вологості зсувного блоку та основи поверхні ковзання до факту зсуву .

2.5.4) Визначення вологості w , температури T , щільності ρ експериментального матеріалу за фактом зсуву при $T_{рідини} = 25^{\circ}\text{C}$ та $T_{рідини} = T_{прогр}$. Данні занести до таблиці експерименту.

2.5.5) Циклічне повторення дій з пунктів 2.5 включно за різним значенням кута зсуву α .

2.6) Формування дослідницьких зразків групи експериментів з початковою щільністю $\rho_{ноч1}$, кг/м³ відповідно до пункту 1.3 та плану експериментальних досліджень.

2.6.1) Підвищення температури зсувного блоку та основи поверхні ковзання до T_i відповідно плану експериментальних досліджень за допомогою настільних плит системи прогріву, регулюючи потужність та час прогріву.

2.6.2) Циклічне повторення дій з пунктів 2.5 включно за різним значенням кута нахилу поверхні ковзання α відповідно до плану експериментальних досліджень.

2.7) Формування дослідницьких зразків групи експериментів з початковою щільністю $\rho_{почі}$, кг/м³ відповідно до пункту 1.3 та циклічне повторення дій з пунктів 2.5 по 2.6 включно у відповідності до плану експериментальних досліджень.

Заходи із забезпечення безпеки під час проведення експериментальних досліджень:

- перевірка справності елементів лабораторної установки, допоміжного устаткування, вимірювальних приладів;
- перевірка наявності та цілісності медичної аптечки, вогнегасника, захисного заземлення;
- ознайомлення всіх осіб, які беруть участь в дослідженні, з планом робіт;
- виконання дій тільки зазначених керівником робіт;
- використання засобів індивідуального захисту – респіратору, рукавиць;
- забезпечення вільного доступу/відступу до/від експериментальної установки;
- дотримання вимог з охорони праці, пожежної безпеки, електробезпеки;
- відпрацьований експериментальний матеріал (звалищний ґрунт) по закінченню досліджень з метою охорони навколишнього природного середовища від шкідливого забруднення транспортувати на робочу карту в мішків та/або возику.

Таким чином, розроблені лабораторна установка та методика проведення експериментальних досліджень впливу фізичних властивостей

звалищних ґрунтів на стійкість схилів, що дозволяють перевірити достовірність математичної моделі попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів на полігоні твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням та розробленої на її основі відповідної методики.

3.2. Експериментальні дослідження впливу фізичних властивостей звалищних ґрунтів на стійкість схилів

З метою перевірки достовірності розробленої математичної моделі та розробленої на її основі відповідної методики попередження НС каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів на полігоні ТПВ з ЛЕТУ на лабораторній установці (рисунок 3.1) проведена низка серія експериментальних досліджень.

Експериментальні дослідження проводились на базі комунального підприємства «Благоустрій міста Ізюм». До групи експериментаторів залучалися 2 інженери даного підприємства.

Під час планування експериментальної частини роботи враховані прагнення щодо: мінімізації загального числа дослідів; можливості одночасного варіювання всіма передбаченими факторами впливу відповідно до методики досліджень; використання математичного апарату, що формалізує більшість дій експериментаторів; вибору чіткої стратегії, що дозволяє приймати обґрунтоване рішення після кожної серії експериментів.

Умови проведення експерименту подібні умовам на полігоні ТПВ, але не є ідентичними, що достатньо для вирішення питань у сфері цивільної безпеки. Об'єкт дослідження володіє властивостями відтворення результатів.

Вибір експериментальної області факторного простору досліджень впливу фізичних властивостей звалищних ґрунтів на стійкість схилів базувався на аналізі результатів польових досліджень по визначенню вологості w , щільності ρ , температури T звалищних ґрунтів (рисунок 3.9), а також кута

схилів тіла звалищних ґрунтів α на полігонах ТПВ (рисунок 3.10). В тому числі проведені дослідження по визначенню міцності на зсув – кута внутрішнього тертя φ , питомого зчеплення C за відповідними значеннями фізичного стану звалищних ґрунтів [236].



Рисунок 3.9. Визначення значень фізичних властивостей звалищних ґрунтів на полігоні ТПВ.



Рисунок 3.10. Інтерфейс мобільного телефону під час визначення кута схилу тіла звалищних ґрунтів на полігоні ТПВ.

Визначення значень фізичних властивостей звалищних ґрунтів та відбір проб проводились методом конверта на трьох полігонах ТПВ Харківської

області та на двох полігонах Полтавської й Кіровоградської областях в різні пори року.

Механічні властивості на зсув відібраних проб звалищних ґрунтів з полігонів ТПВ (кут внутрішнього тертя φ , питоме зчеплення C) з різними значеннями вологості w , щільності ρ , температури T визначались методом прямого зрізу на одноплощинному зсувному приладі (рисунок 3.11).

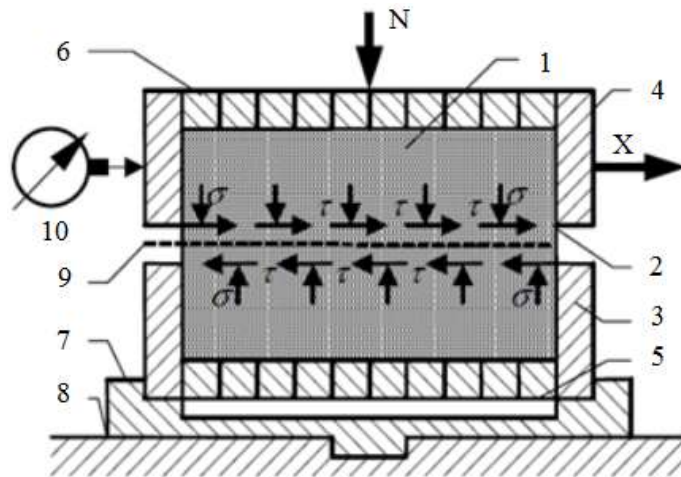


Рисунок 3.11. Схема одноплощинного зрізного приладу.

На рисунку 3.11 використанні позначення: 1 – зразок звалищного ґрунту; 2 – розрізне кільце (гільза); 3 – нижня нерухома обойма; 4 – верхня рухома обойма; 5 – фільтр; 6 – фільтр-штамп; 7 – піддон; 8 – станина; 9 – площина зсуву; 10 – індикатор.

Результати досліджень приведені до середнього арифметичного їх значення \bar{x} (таблиця 3.1):

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (3.10)$$

де x_i – показник i параметру звалищних ґрунтів, що підлягав визначенню; n – кількість випробувань.

Таблиця 3.1.

Результати визначення фізико-механічних властивостей звалищних ґрунтів з полігонів ТПВ.

Пора року	№ дослідження	Характеристика	Середнє значення відповідно до об'єкту дослідження				
			I	II	III	IV	V
Зима	1	ρ , кг/м ³	950	630	1300	980	1000
	2	w , %	36	38	35	36	37
	3	T , °C	13	10	12	13	14
	4	φ , °	19	13	22	20	21
	5	C , кПа	30	16	39	31	33
Весна	1	ρ , кг/м ³	930	620	1270	960	975
	2	w , %	39	42	37	39	38
	3	T , °C	11	5	12	12	13
	4	φ , °	15	10	22	17	20
	5	C , кПа	26	8	37	27	29
Літо	1	ρ , кг/м ³	960	645	1300	985	1000
	2	w , %	31	35	35	33	34
	3	T , °C	40,2	45,0	38,0	39	36
	4	φ , °	17,5	13,5	21	19	21
	5	C , кПа	32	18	39	30	32
Осінь	1	ρ , кг/м ³	940	620	1290	970	980
	2	w , %	34	38	36	36	35
	3	T , °C	11	7	12	12	13
	4	φ , °	16	11	22	17	20
	5	C , кПа	28	12	38	28	31

Аналіз результатів показує, що динаміка зміни вологості та температури звалищних ґрунтів залежить від пори року (рисунок 3.12): навесні збільшується вологість відповідно до збільшення атмосферних опадів що було характерно для року проведення досліджень, та зменшується температура; а влітку вологість зменшується з ростом температури навколишнього середовища та звалищних ґрунтів.

Чим менше щільність звалищних ґрунтів (II об'єкт), тим більша здатність до проникнення та насичення водою. Чим більше щільність (III об'єкт), тим менше поглинається води, та більш стабільною є температура.

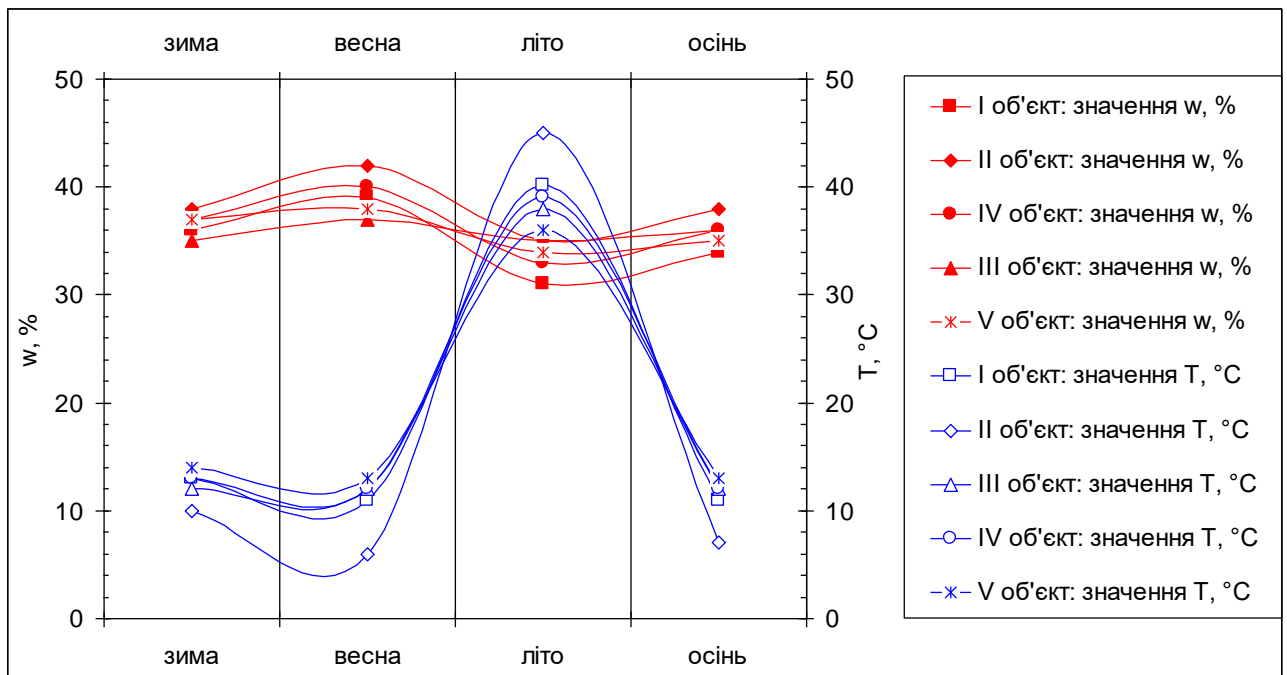


Рисунок 3.12. Динаміка зміни вологості (верхня група кривих) та температури (нижня група кривих) звалищних ґрунтів з полігонів ТПВ відповідно до пори року.

На рисунках 3.13 та 3.14 наведена динаміка зміни механічних властивостей звалищних ґрунтів з полігонів ТПВ відповідно до пори року. Визначено, що значення кута внутрішнього тертя та питомого зчеплення змінюються в залежності від фізичних показників: чим вище щільність (III об'єкт), тим стабільніші значення механічних властивостей зі зміною пори року. До нестабільності призводить надмірна кількість вологи та високі температури. Для об'єкта з найменшою щільністю (II об'єкт) характерні більш динамічні процеси зміни механічних показників.

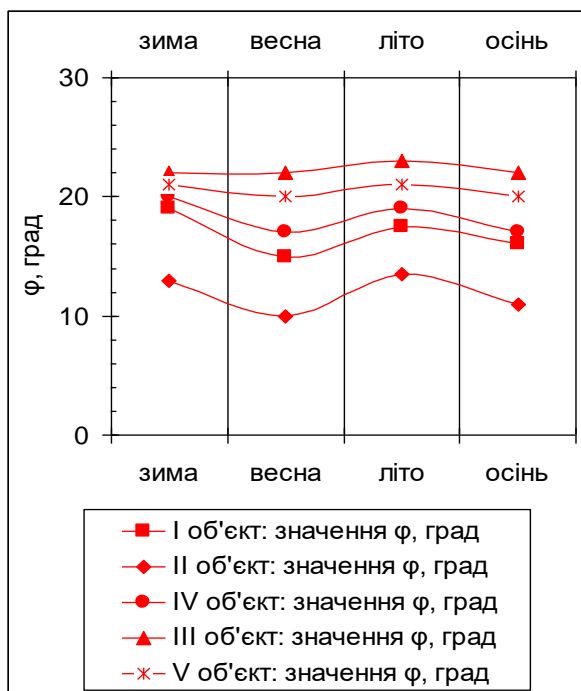


Рисунок 3.13. Динаміка зміни кута внутрішнього тертя звалищних ґрунтів відповідно до пори року.

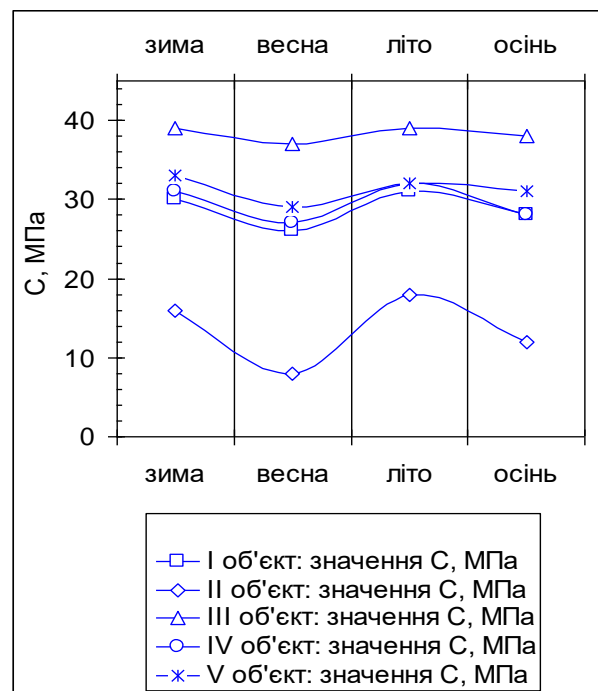


Рисунок 3.14. Динаміка зміни питомого зчеплення звалищних ґрунтів відповідно до пори року.

Результати польових досліджень визначення кута схилів тіла звалищних ґрунтів на полігонах ТПВ знаходяться в межах 60° .

Вибір експериментальної області факторного простору пов'язаний з ретельним аналізом апріорної інформації. Граничні значення щільності – наближені до реального стану ущільнення ТПВ на об'єктах захоронення відходів, вологості обумовлені результатами польових досліджень та їх оптимальним діапазоном для утворення максимальної кількості метану у складі біогазу, температури – умовами навколишнього середовища та оптимальним діапазоном температур для утворення біогазу.

В таблиці 3.2. наведені натуральні та закодовані значення факторів впливу, що обрані для проведення експерименту. Нижній рівень значення факторів впливу відповідає початковому фізичному стану експериментального матеріалу.

Таблиця 3.2.

Натуральні та закодовані значення фізичних факторів впливу, що обрані для проведення експерименту.

Позначення фактору	ρ , кг/м ³	T , °C	w , %	x_ρ	x_T	x_w
Основний рівень	950	35	55	0	0	0
Верхній рівень	1300	45	80	+1	+1	+1
Нижній рівень	600	25	30	-1	-1	-1

Порядок реалізації дослідів, їх кількість та умови визначені планом експерименту. Один з найкращих планів для трьох факторів – план Бокса В₃ [237], який взятий за основу для побудови матриці планування експериментальних досліджень впливу фізичних властивостей звалищних ґрунтів на стійкість схилів (таблиця 3.3).

Таблиця 3.3.

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

Результати експериментальних досліджень впливу фізичних властивостей звалищних ґрунтів на стійкість схилів на розробленій лабораторній установці наведені в таблицях 3.4 та 3.5.

Зсув експериментального блоку спостерігається в діапазоні від 30^0 до 75^0 в залежності від характеристик фізичного стану звалищних ґрунтів.

Таблиця 3.4.

Зведені результати визначення кута внутрішнього тертя, питомого зчеплення та кута зсуву експериментальних блоків звалищних ґрунтів за умов різної вологості, щільності та температури ($T_{поч} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $w_{поч} = 30 \%$).

№ дослідження	ρ , кг/м ³	T , $^{\circ}\text{C}$	w , %	φ , град	C , кПа	α , град
1	-1	-1	-1	13,3	12,1	70,3
2	-1	-1	+1	10,9	7,2	29,2
3	-1	0	0	11,8	8,5	38,3
4	-1	+1	-1	12,1	9,4	65,0
5	-1	+1	+1	10	6,5	25,4
6	0	-1	-1	22,5	35,0	75,2
7	0	-1	0	21,3	28,9	65,5
8	0	0	-1	21,8	32,6	68,3
9	0	0	+1	20,2	31,0	29,2
10	0	+1	0	21,4	30,3	35,4
11	+1	-1	-1	22,6	38,8	75,1
12	+1	-1	+1	21,2	33,5	30,0
13	+1	0	0	22,4	36,8	52,5
14	+1	+1	0	21,9	34,7	44,2
15	+1	+1	+1	19,8	28,3	28,3

Аналіз отриманих результатів показує взаємовплив фізичних властивостей звалищних ґрунтів та їх вплив на механічні властивості – стійкість схилів на зсув. З ростом вологості кут внутрішнього тертя та зчеплення знижуються за рахунок ослаблення структурних зв'язків та впливу рідини на контакт частинок. Чим менша щільність тим більша здатність до проникнення та насичення вологою, що створює додаткове навантаження на зсув. Звалищні ґрунти з низькою щільністю швидше прогріваються. Додаткова волога знижує температуру. Чим більше щільність, тим менше поглинається вологи, та більш стабільною є температура. До втрати стійкості схилів

звалищних ґрунтів призводить низька їх щільність розміщення, надмірна кількість води, високі температури.

Для уточнення результатів експериментів проведені спостереження з визначення вологості, температури та щільності за фактом зсуву експериментальних блоків з урахуванням поступового наростання вологості, враховуючи граничні значення кута зсуву з огляду на польові дослідження: верхній рівень відповідає 60° , основний (нульовий) – 45° , нижній – 30° . Результати приведені до середніх арифметичних значень \bar{x} та наведені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5.

Зведені результати визначення вологості, температури та щільності за фактом зсуву експериментальних блоків з урахуванням поступового наростання вологості ($w_{поч}=30\%$).

№ дослідження	Початковий стан			Кінцевий стан за фактом зсуву					
	$\rho_{поч}$, кг/м ³	$T_{поч}$, °C	α , град	w , %		T , °C		ρ , кг/м ³	
				$T_{рідини}=25^{\circ}\text{C}$	$T_{рідини}=T_{прогр}$, °C	$T_{рідини}=25^{\circ}\text{C}$	$T_{рідини}=T_{прогр}$, °C	$T_{рідини}=25^{\circ}\text{C}$	$T_{рідини}=T_{прогр}$, °C
1	-1	-1	-1	65,0		25		485	
2	-1	-1	+1	44,1		25		580	
3	-1	0	0	49,2	46,9	32,0	35	560	585
4	-1	+1	-1	57,9	55,3	34,8	45	520	535
5	-1	+1	+1	33,0	30,0	37,0	45	595	600
6	0	-1	-1	72,3		25		720	
7	0	-1	0	64,9		25		770	
8	0	0	-1	66,2	63,9	31,2	35	760	775
9	0	0	+1	42,3	42,0	32,8	35	930	935
10	0	+1	0	46,8	44,2	35,9	45	900	920

закінчення таблиці 3.5

11	+1	-1	-1	80,0		25		900	
12	+1	-1	+1	64,4		25		1060	
13	+1	0	0	63,3	61,0	33,2	35	1070	1090
14	+1	+1	0	57,5	54,9	36,8	45	1125	1150
15	+1	+1	+1	48,9	46,3	37,6	45	1210	1240

Таким чином, проведена низька експериментальних досліджень та отримано набір даних для подальшої перевірки достовірності розробленої математичної моделі попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів на полігоні твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням та розробленої на її основі відповідної методики.

3.3. Результати з перевірки достовірності розробленої математичної моделі та розробленої на її основі відповідної методики попередження надзвичайних ситуацій

З метою перевірки достовірності розробленої математичної моделі попередження НС каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів на полігоні ТПВ з ЛЕТУ та розробленої на її основі відповідної методики результати експериментальних досліджень (розділ 3.2) підлягають статистичній обробці для отримання статистичної вибірки значень фізичних властивостей звалищних ґрунтів, що входять в довірчий інтервал, розрахований з ймовірністю 95 % за класичним методом статистики: t-критерій Стьюдента [238].

Алгоритм обробки результатів спостереження полягає у наступному:

1) Виключити з результатів спостережень відомі систематичні похибки шляхом введення відповідних поправок.

2) Обчислити середнє арифметичне значення результатів спостережень

$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ та прийняти його в якості результату вимірювання.

3) Провести оцінку розсіювання одиничних результатів спостережень в групі щодо середнього їх значення \bar{x} , для чого обчислити значення дисперсії σ і перевірити 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 $\pm 3\sigma$:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}. \quad (3.11)$$

4) Обчислити середньоквадратичне відхилення середнього арифметичного $S_{\bar{x}}$ результату вимірювання:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n \cdot (n-1)}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}. \quad (3.12)$$

5) Довести, що результати спостережень належать нормальному розподілу.

6) Обчислити довірчий інтервал для математичного очікування випадкової величини з надійністю γ :

$$\bar{x} - t_{\gamma} \cdot S_{\bar{x}} < a < \bar{x} + t_{\gamma} \cdot S_{\bar{x}}, \quad (3.13)$$

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.

Якщо число ступенів свободи $k = n - 1 = 3$, $\gamma = 0,95$ то $t_{\gamma} = 3,182$, а довірчий інтервал для математичного очікування випадкової величини визначається з виразу:

$$\bar{x} - 3,182 \cdot S_{\bar{x}} < a < \bar{x} + 3,182 \cdot S_{\bar{x}}. \quad (3.14)$$

Для оцінки достовірності математичної моделі та методики попередження НС каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів на полігоні ТПВ з ЛЕТУ відповідно до наведеного алгоритму сформуємо таблицю за результатами обробки даних експериментальних досліджень (таблиця 3.6) та перевіримо графічно гіпотезу про те, що результати експериментів належать до нормального розподілу, для цього побудуємо відповідні діаграми (рисунок 3.15–3.17).

Таблиця 3.6.

Результати обробки даних експериментальних досліджень по перевірці достовірності з ймовірністю 95 % розробленої математичної моделі та розробленої на її основі відповідної методики попередження НС.

№ дослідження	Параметри статистичної вибірки експериментів																
	\bar{x}				σ				довірчий інтервал				$\pm 3\sigma$				
	w	T	ρ	α	w	T	ρ	α	w	T	ρ	α	w	T	ρ	α	
1	65,0	–	485	70,3	1,154	–	6,100	0,753	63,163– 66,836	–	–	475,295– 494,705	69,102– 71,498	3,462	–	18,300	2,259
2	44,1	–	580	29,2	1,160	–	5,450	0,785	42,255– 45,945	–	–	571,330– 588,670	27,952– 30,448	3,480	–	16,350	2,355
3	49,2	32,0	560	38,3	1,155	1,100	5,530	0,812	47,363– 51,037	30,250– 33,750	551,202– 568,798	37,009– 39,591	3,465	3,3	16,590	2,436	
4	57,9	34,8	520	65,0	1,151	1,095	6,010	0,825	56,068– 59,731	33,058– 36,542	510,439– 529,561	63,688– 66,312	3,453	3,285	18,030	2,475	

закінчення таблиці 3.6

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5
48,9	57,5	63,3	64,4	80,0	46,8	42,3	66,2	64,9	72,3	33,0
37,6	36,8	33,2	-	-	35,9	32,8	31,2	-	-	37,0
1210	1125	1070	1060	900	900	930	760	770	720	595
28,3	44,2	52,5	30,0	75,1	35,4	29,2	68,3	65,5	75,2	25,4
1,154	1,149	1,162	1,155	1,147	1,161	1,163	1,153	1,152	1,162	1,150
1,098	1,115	1,130	-	-	1,090	1,105	1,125	-	-	1,110
5,435	5,950	5,760	6,010	5,630	5,550	5,120	5,750	5,830	5,910	5,725
0,786	0,765	0,765	0,758	0,804	0,768	0,772	0,775	0,765	0,795	0,755
47,064-	55,672-	61,452-	62,563-	78,176-	44,953-	40,450-	64,368-	63,068-	70,452-	31,171-
50,736	59,328	65,148	66,237	81,824	48,647	44,150	68,034	66,732	74,148	34,829
35,854-	35,027-	31,402-	-	-	34,165-	31,042-	29,411-	-	-	35,234-
39,346	38,573	34,997	-	-	37,634	34,558	32,989	-	-	38,766
1201,353-	1115,534-	1060,836-	1050,439-	891,043-	891,170-	921,855-	750,852-	760,725-	710,598-	585,892-
1218,647	1134,466	1079,164	1069,561	908,957	908,830	938,145	769,148	779,275	729,402	604,108
27,050-	42,983-	51,283-	28,795-	73,821-	34,632-	27,372-	67,067-	64,283-	73,336-	26,601-
29,550	45,417	53,717	31,205	76,379	36,621	30,428	69,533	66,717	76,464	26,601
3,5462	3,447	3,486	3,465	3,441	3,483	3,489	3,459	3,456	3,486	3,450
3,294	3,345	3,390	-	-	3,270	3,315	3,375	-	-	3,33
16,305	17,85	17,280	18,030	16,890	16,650	15,360	17,250	17,490	17,730	17,175
2,358	2,295	2,295	2,274	2,412	2,304	2,316	2,325	2,295	2,385	2,265

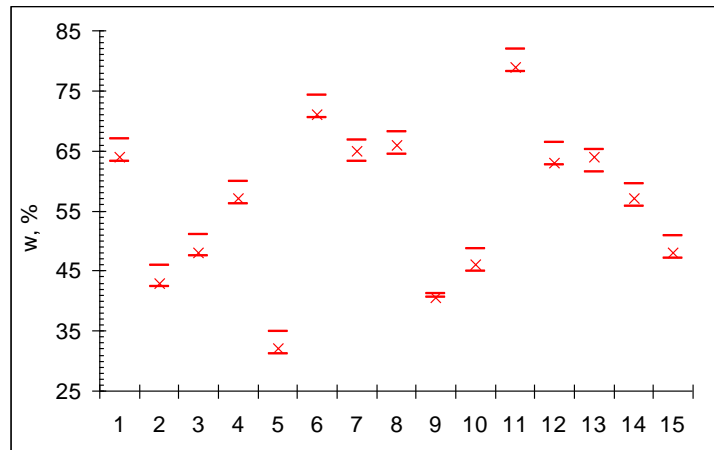


Рисунок 3.15. Результати розподілу значень вологості звалищних ґрунтів відповідно до номера експериментальних досліджень.

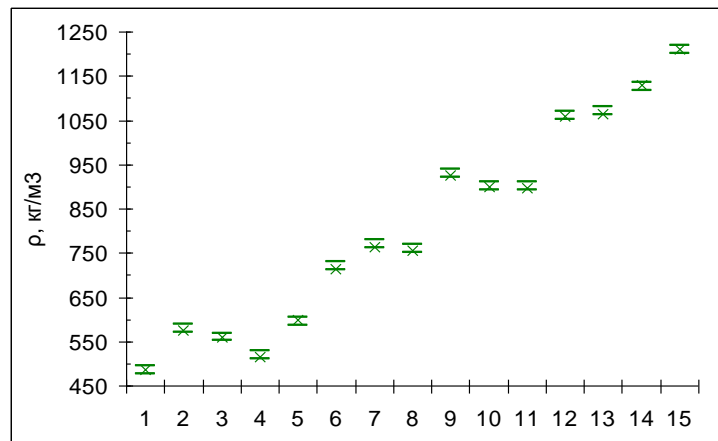


Рисунок 3.16. Результати розподілу значень температури звалищних ґрунтів відповідно до номера експериментальних досліджень.

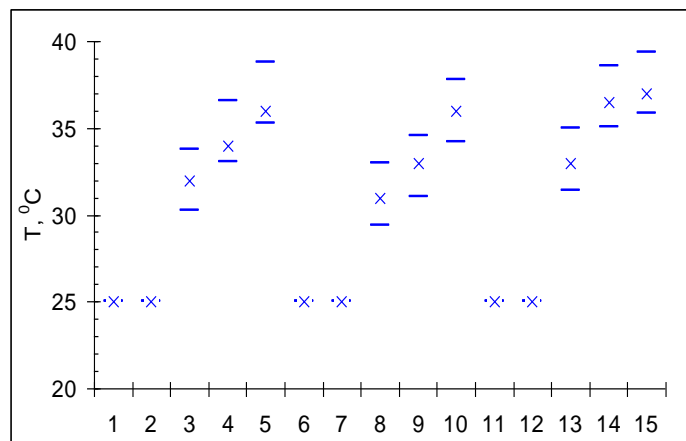


Рисунок 3.17. Результати розподілу значень щільності звалищних ґрунтів відповідно до номера експериментальних досліджень

Для усіх наведених експериментів маємо нормальний закон розподілу результатів.

Таким чином, результати експериментальних досліджень входять в довірчий інтервал, розрахований з ймовірністю 95 % за критерієм Стьюдента, що підтверджує достовірність розробленої математичної моделі попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів на полігоні твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням та розробленої на її основі відповідної методики.

Висновки по третьому розділу

1. Розроблені лабораторна установка та методика проведення експериментальних досліджень впливу фізичних властивостей звалищних ґрунтів на стійкість схилів, що дозволяють перевірити достовірність математичної моделі попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів на полігоні твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням та розробленої на її основі відповідної методики.

2. Результати експериментальних досліджень входять в довірчий інтервал, розрахований з ймовірністю 95 % за критерієм Стьюдента, що підтверджує достовірність розробленої математичної моделі попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів на полігоні твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням та розробленої на її основі відповідної методики.

РОЗДІЛ 4

ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО РЕАЛІЗАЦІЇ РОЗРОБЛЕНОЇ МЕТОДИКИ ПОПЕРЕДЖЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ КАСКАДНОГО ТИПУ ПОШИРЕННЯ, ПОВ'ЯЗАНИХ ЗІ ЗСУВОМ ЗВАЛИЩНИХ ҐРУНТІВ НА ПОЛІГОНІ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ З ЛІКВІДАЦІЙНИМ ЕНЕРГОЄМНИМ ТЕХНОЛОГІЧНИМ УСТАТКУВАННЯМ

Розроблену методику попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів на полігоні твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням пропонується використовувати в підрозділах Державної служби України з надзвичайних ситуацій місцевого та регіонального рівня підпорядкованості. Для ефективної реалізації цієї методики необхідно забезпечити виконання 2-х умов. Перша умова – забезпечення безпечних умов функціонування аварійно-рятувальних підрозділів під час попередження надзвичайних ситуацій безпосередньо на об'єкті їх виникнення. Друга умова – зменшення наслідків впливу надзвичайних ситуацій за межами об'єкту їх виникнення на довкілля та населення, яке мешкає у зоні можливого ураження.

4.1. Забезпечення безпечних умов функціонування аварійно-рятувальних підрозділів під час попередження надзвичайних ситуацій

4.1.1. Виявлення осередків прихованої техногенної небезпеки за результатами спостереження стану атмосферного повітря. Ефективність процесу попередження НС залежать від поінформованості фахівців підрозділів ДСНС України про стан умов в зоні виконання аварійно-рятувальних робіт

[239]. В зоні попередження НС на полігоні ТПВ, у зв'язку з горючістю відходів та пожежо-, вибухонебезпекою біогазу, існує висока ймовірність виникнення пожеж, ознаки яких потрібно визначати як на поверхні, так й товщі масиву відходів. Внаслідок вигорання відходів утворюються пустоти, в які можна провалитися та (або) втрачається стійкість схилів, які можуть накрити рятувальників [240–242].

Стан атмосферного повітря є інформаційним середовищем щодо виявлення осередків прихованої техногенної небезпеки на полігоні ТПВ. Спостереження за станом атмосферного повітря – кількісним та якісним його складом (наявністю екологічно-небезпечних речовин) – переважно засновані на використанні контактних, біологічних та дистанційних методів [243], що мають свої обмеження під час застосування в зоні НС [244, 245]. Екологічно-небезпечні речовини можуть виступати індикаторами небезпеки.

У ході наукової роботи за допомогою контактних методів досліджений якісний та кількісний склад проб атмосферного повітря, які були відібрані в зоні впливу одного з полігонів ТПВ Харківської області [246]. Відбір проб атмосферного повітря та визначення разових концентрацій забруднюючих речовин проводилось лабораторними методами відповідно до РД 52.04.186–89 Руководство по контролю загрязнения атмосферы. Точка відбору проб знаходилась на границі санітарно-захисної зони (СЗЗ) об'єкту з підвітряної сторони (відстань 500 м, висота 1,5 м). Кількість проб на одну досліджувану речовину для достатньої достовірності результатів дослідження відповідала 4 заборам тривалістю кожний по 20 хвилин. Для відбору проб повітря застосовувались установка пневматична УП-1224 АС, 2-х каналні пробовідбірники портативні аспіраційні «Тайфун» Р-2-2, Р-20-2, прокачуючий пристрій. Проби транспортувались в спеціальних пакетах без методів консервації до лабораторії. Одночасно з відбором проб визначались метеорологічні умови: атмосферний тиск, температура повітря, вологість, напрямок та швидкість вітру, стан погоди. Результати хімічного аналізу відібраних проб атмосферного повітря в зоні впливу полігону ТПВ наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1.

Результати хімічного аналізу відібраних проб атмосферного повітря в зоні впливу полігону ТПВ.

№ з/п	Найменування досліджуваної речовини	Виявлена разова концентрація у порівнянні з ГДК, мг/м ³	Метод вимірювання	Метеорологічні фактори					
				атм. тиск, мм. рт. ст.	температура повітря, °С	вологість, %	напрямок вітру	швидкість вітру, м/сек	стан погоди
1.	Вуглецю оксид	1,5 < 5	Газова хроматографія	756,9	-3	86	східний	8	хмарно
2.	Азот діоксид	0,05 < 0,2	Фотометрія						
3.	Сірчистий ангідрид	0,13 < 0,5	Колориметрія						
4.	Пил неорганічний	0,38 < 0,5	Гравіметрія						
5.	Сажа	менше 0,025 < 0,15	Фотометрія						
6.	Сірководень	0,006 < 0,008	Фотометрія						
7.	Фенол	0,005 < 0,01	Фотометрія						
8.	Формальдегід	менше 0,01 < 0,035	Фотометрія						
9.	Заліза оксид (у перерахунку на залізо)	менше 0,0001 < 0,04 (ГДК _{ср.доб})	Фотометрія						

За результатами роботи [247] встановлено, що контактні методи мають достатню точність аналізу забруднювачів, але їх застосування в зоні НС обмежується високою матеріало- і трудомісткістю, низькою вибірковістю, чутливістю та швидкодією при вимірі в автоматичному режимі в реальному масштабі часу.

Метод біоіндикації має ряд переваг, які пов'язані з постійним контролем, високою чутливістю, відсутністю потреб в матеріальних затратах,

ремонті та калібруванні приладів. Однак, цей метод не становить перспективу використання в зоні НС. Він базується на більш тривалих спостереженнях, а вплив небезпеки може виявитися згубними для живих організмів. До того ж є малоефективним у холодну пору року.

В умовах зростання антропогенного впливу альтернативою контактним методам контролю за станом техногенної безпеки виступають дистанційні методи. До сучасних методів відносять дистанційні засоби зондування земної поверхні, оптичні прилади (лідари). Робота їх заснована на фіксації відгуків електромагнітної енергії у різному діапазоні довжин хвиль як природного, так і антропогенного походження.

Для моніторингу використовуються знімки надвисокого роздільного просторового дозволу (розмір найменших помітних об'єктів на зображенні 0,5–1 м). До таких даних належать знімки із супутників WorldView-1/2, GeoEye, Pleiades, QuickBird, Ikonos та ряду інших.

Для виявлення елементарних об'єктів повинна виконуватися умова:

$$I_{об} \cdot S / R^2 > \Delta I, \quad (4.1)$$

де $I_{об}$ – яскравість об'єкта, S – площа об'єкта, R – просторова роздільна здатність, яка визначається лінійними розмірами мінімально реєстрованого елемента (пікселя) зображення, ΔI – радіометричний дозвіл знімальної апаратури.

Умови та тривалість деструкції (тління) відходів в загальній масі не однакові. Невідомими залишається час від початку тління до появи відкритого полум'я та час від утворення тріщин до зсуву звалищних ґрунтів. В роботі [247] на прикладі одного з широко розповсюджених полімерів – синтетичного волокна поліакрилонітрилу (нітрон) – з використанням стандартної методики газової хроматографії виконано експериментальні дослідження по визначенню складу газоподібних продуктів, що утворюються при розкладанні в інтервалі

температур від 100 °С до 600 °С в інертному середовищі (рисунок 4.1) та в присутності кисню (рисунок 4.2), та обґрунтована можливість проведення високоточної ідентифікації газоподібних речовин в атмосфері з метою виявлення прихованої небезпеки в масиві полігону ТПВ.

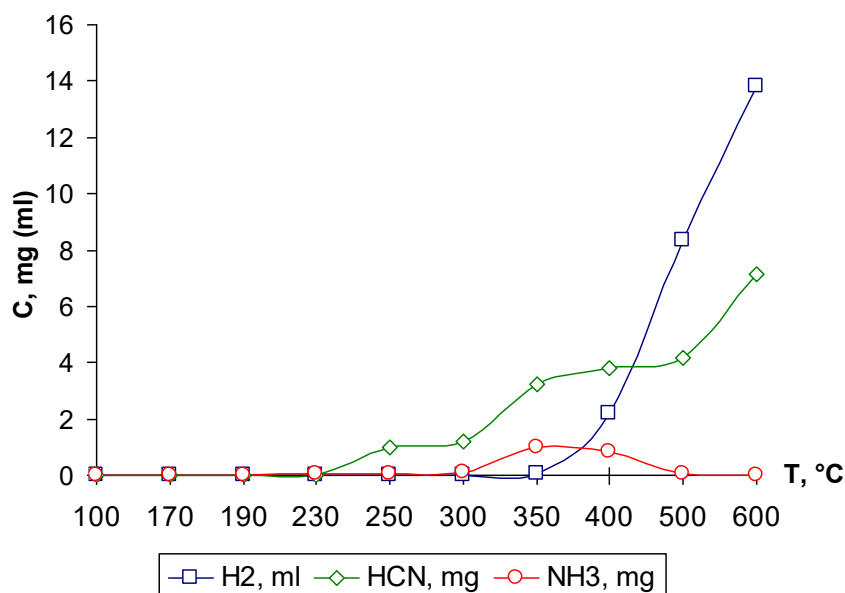


Рисунок 4.1. Залежність концентрації токсичної речовини від температури його нагріву в інертному середовищі.

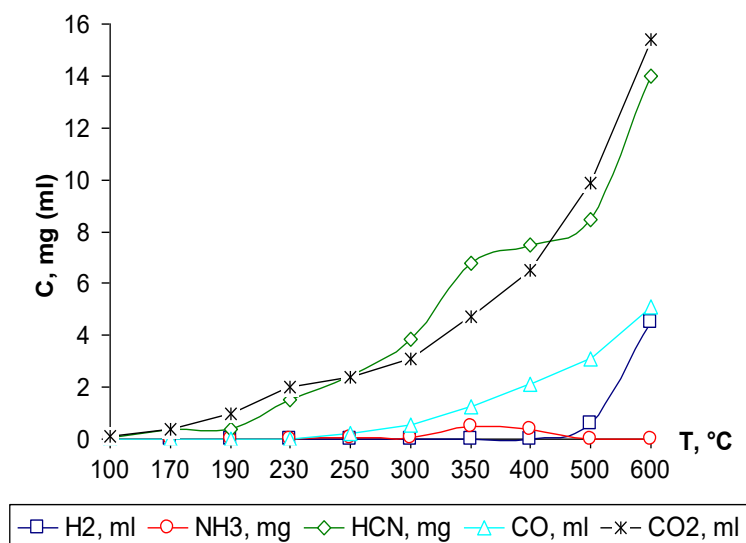


Рисунок 4.2. Залежність концентрації токсичної речовини від температури його нагріву в присутності окисника.

Встановлено, що процес горіння вихідного синтетичного волокна супроводжується значним газоутворенням. Основними речовинами є водень, синильна кислота, аміак, окис і двоокис вуглецю. Відповідно, ідентифікація названих газоподібних речовин в атмосферному повітрі над полігоном ТПВ може свідчити про виникнення підповерхневого горіння з можливим утворенням пустот.

Оскільки виділення газоподібних токсичних речовин відбувається вже при 100 °С, але в малих концентраціях, то для поінформованості про стан умов в зоні виконання аварійно-рятувальних робіт необхідний високоточний метод газоаналізу. Такий газоаналіз може бути виконаний за допомогою застосування лазерного комплексу. Головна перевага лазерного газоаналізу полягає в можливості створення дистанційної, мобільної системи для дослідження зон малих і великих площин.

В роботі [248] проаналізовані наукові дослідження у сфері лазерного зондування атмосфери. Метод лазерного зондування заснований на поглинанні світлової енергії молекулами газу що досліджуються при збігу частоти випромінювання лазера з частотою електронного або коливально-обертального переходу даних молекул. Відбивачем енергії, що надходить від лазера, є топографічні об'єкти або об'єм газу, який піддається опроміненню, в результаті зворотного розсіювання.

До принципової схеми більшості лідарів належать блоки: передачі (лазерне джерело, оптична система передачі); прийому (фотодетектор, спектроаналізатор, оптична система прийому); система управління (елементи обробки, контролю вихідного випромінювання, система відображення інформації).

Основне рівняння лазерної локації базується на основі залежності потужності відбитого (розсіяного) об'єктом зондування випромінювання на заданій довжині хвилі від відстані до об'єкта і його параметрів:

$$P_s = \frac{PS\eta\beta}{R^2} e^{-2\Gamma}, \quad (4.2)$$

де P_s – потужність відбитого (розсіяного) випромінювання; P – потужність лазера; S – ефективна площа приймального елемента; η – ефективність приймального елемента; β – об’ємний коефіцієнт зворотного розсіювання; $\Gamma = \int_0^R \alpha(R) dR$ – інтегральний коефіцієнт поглинання лазерного випромінювання; α – об’ємний коефіцієнт поглинання лазерного проміння; R – відстань до об’єкта зондування.

При імпульсному зондуванні відстань до об’єкта зондування визначається зі співвідношення:

$$R = \frac{c\tau}{2}, \quad (4.3)$$

де c – швидкість світла, τ – затримка імпульсу.

Якщо в якості відбивача лазерного пучка використовують кутовий відбивач, то рівняння (4.1) модернізується і має вигляд:

$$P_s = \frac{PS\eta C}{R_0^2} e^{-2\Gamma(R_0)}, \quad (4.4)$$

де C – апаратна константа, R_0 – довжина траси, $\Gamma(R_0)$ – інтегральний коефіцієнт поглинання при проходженні випромінювання всієї траси.

Рівняння лазерної локації (4.1) вимагає врахування особливостей процесів випромінювання і розсіювання з подальшим уловлюванням і інтерпретацією отриманих результатів.

Об’ємного коефіцієнта поглинання лазерного проміння α описується:

$$\alpha = \alpha_m + \alpha_a, \quad (4.5)$$

де α_m та α_a – коефіцієнти, що описують молекулярне та аерозольне ослаблення.

$$\alpha = N\sigma, \quad (4.6)$$

де N – концентрація молекул газу, який досліджується; σ – перетин поглинання газу.

Для α_m маємо наступне співвідношення:

$$\alpha_m = \frac{3}{8\pi} \beta_m \quad (4.7)$$

де β_m – коефіцієнт молекулярного розсіяння. Він дається формулою Релея:

$$\beta_m \approx \frac{8}{3} \pi^3 \frac{(n^2 - 1)^2}{N\lambda^4} \quad (4.8)$$

де n – показник переломлення повітря.

З (4.7) та (4.8) маємо:

$$\alpha_m \approx \pi^2 \frac{(n^2 - 1)^2}{N\lambda^4} \quad (4.9)$$

Вираз для α_a описується теорією аерозольного розсіювання (теорія Мі). Однак більш зручне та точне для опису аерозольного послаблення є емпіричне співвідношення:

$$\alpha_a = \frac{3,912}{R_m} \left(\frac{\lambda}{0,55} \right)^{-q}, \quad (4.10)$$

де λ – вимірюється в мкм, R_m – метеорологічна дальність видимості при $\lambda = 0,55$ мкм, q – показник ступеня, який залежить від R_m . Так, при $R_m \leq 6$ км: $q = 0,585 R_m^{1/3}$. Для R_m , яка знаходиться в діапазоні 6–50 км, $q \approx 1,3$. При $R_m \geq 50$ км $q \approx 1,6$.

Результати використання лідарів для ідентифікації газових домішок і аерозолів у атмосфері показані в роботі [249]. При цьому дослідження у роботі спрямоване саме на вивчення теоретичних основ лазерного моніторингу атмосфери в зоні виникнення НС для ідентифікації газового складу й аерозолів.

Принципова схема виявлення осередків прихованої техногенної небезпеки із застосуванням лазерного зондування атмосфери над полігоном ТПВ надана на рисунку 4.3.

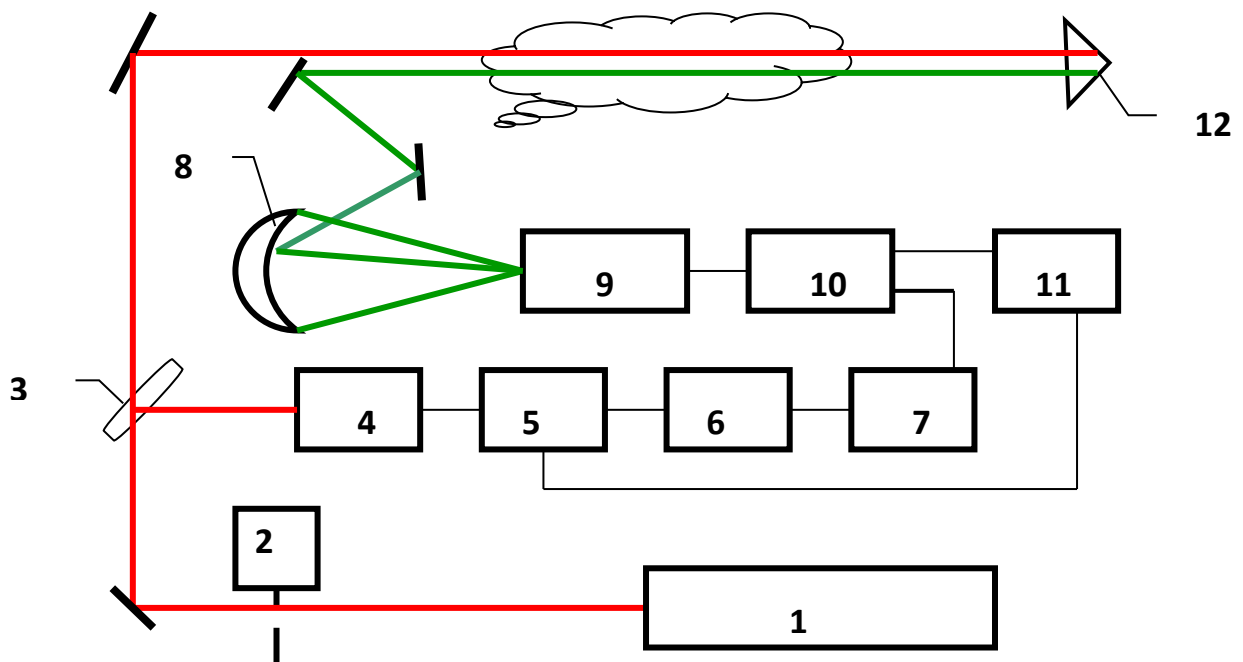


Рисунок 4.3. Схема виявлення осередків прихованої техногенної небезпеки із застосуванням лазерного зондування атмосфери над полігоном ТПВ.

На рисунку 4.3 використані позначення: 1 – частотно-переналагоджуючий CO₂ лазер; 2 – модулятор переривник; 3 – розщеплювач проміння; 4 – піроелектричний детектор; 5 – посилювач; 6 – потенціометр; 7 – синхронний детектор; 8 – сферичне дзеркало; 9 – піроелектричний приймач; 10 – посилювач; 11 – двоканальний осцилограф; 12 – кутовий відбивач.

Установка забезпечує наступні параметри: діапазон довжини хвиль – 9–11 мкм, вихідна потужність – 50 Вт, дозвіл спектроаналізатора – 0,003 мкм, можливість генерації – 80 ліній, діаметр пучка, що вивчається – 6 мм, розбіжність пучка – 2 мрад, ефективна площа приймача – 3 мм², режим випромінювання – безперервний, рівень шумів приймача – 0,1 мВ.

Лазерний комплекс дозволяє визначати концентрацію вздовж променя лазера біля сотні інгредієнтів, серед яких: оксиди карбону, оксиди нітрогену, оксиди сульфуру, озон, аміак, гідросульфід, флуор, хлор, фторид сульфуру, метан та його похідні, етан та його похідні, карбогідрогени дієнового ряду, флуор- і хлор- похідні карбогідрогенів (в тому числі фреони), гідразин і його похідні, бензол і його похідні, бенз(α)пірен, аерозольні частки та інші речовини із забезпеченням точності визначення концентрації до 0,01 гранично допустимої концентрації (ГДК).

Для лазерної техніки немає принципової різниці при визначенні малих або високих концентрацій забруднюючих речовин, що забезпечується за рахунок методичної цілісності в процесі вимірювання концентрацій, які визначаються вибірковістю взаємодії лазерного випромінювання з молекулами забруднюючих речовин, які припадають на певну частоту, що залежить від типу (хімічної формули) молекули. Важливо, що лазерний моніторинг принципово дозволяє вирішити двоєдине завдання – практично одночасну та оперативну діагностику забруднень зони надзвичайної ситуації, як газами, так і аерозолями [244, 245].

4.1.2. Виявлення прихованих шляхів поширення техногенної небезпеки за результатами спостереження стану атмосферного повітря, звалищних ґрунтів. Як було зазначено в першому розділі, вигоряння відходів призводить до зниження їхньої міцності, що за умови накопичення великих обсягів води викликає зсуви, та як наслідок травмування, задуха, розчавлення рятувальників або поширення небезпечних факторів за межі санітарно-захисної зони із загрозою довкіллю, сусіднім населеним пунктам, інженерним спорудам тощо.

У ході досліджень запропоновані способи виявлення та оцінки пожежної небезпеки на полігонах ТПВ, що викладені в роботах [250, 251] в залежності від розміщення датчиків.

Підвищення ефективності виявлення та визначення пожежної небезпеки пов'язане із застосуванням різноманітних дистанційних методів на основі властивостей електромагнітних хвиль різного діапазону. Хвилі взаємодіють з інформаційними ознаками пожежі та переносять отримані данні до датчиків. Датчики можуть бути встановлені як на поверхні землі (мобільні або стаціонарні вишки), так і у повітрі (на борту літака, аеростата, БПЛА), або у космосі (на борту штучного супутника Землі). Дослідження пожежонебезпечної ситуації, з точки зору радіофізики, ґрунтуються на виявленні аномальної радіояркості або термодинамічної температури. Енергія відходів, яка випромінюється та сканується дистанційними приладами, безпосередньо залежить від температури. Чим вище температура, тим інтенсивніше світіння в інфрачервоному і більша випромінююча здатність в мікрохвильових діапазонах довжин хвиль.

Загальними недоліками відомих способів є збільшені як працевитрати, так й недостатня інформативність щодо встановлення осередків пожеж – меж зони горіння під поверхнею маси відходів за результатами спостереження для визначення потрібної кількості вогнегасної речовини на гасіння осередку спалахування. Виключення цих недоліків поставлено в основу розробки способу в роботі [250] з використанням методів та засобів дистанційного зондування.

Найближчим аналогом до запропонованого способу та вибраним нами прототипом є спосіб виявлення пожеж [252], в якому цілодобово спостерігають за територією в оптичному та інфрачервоному діапазонах, при цьому засоби спостереження встановлені на БПЛА, виявляють осередки спалахування та передають дані про виявленні осередки спалахування до наземного центру спостереження.

Поставлена задача вирішується за рахунок використання БПЛА, який має можливість як вільного переміщення у горизонтальній та вертикальній площині, так і має властивість зависати у повітрі безпосередньо над поверхнею з прив'язкою до точки спостереження, а також використання засобу мікрохвильової радіометрії, встановленого на БПЛА. На рисунку 4.4 наведено функціональну схему виявлення прихованих шляхів поширення техногенної небезпеки (пожеж) на полігонах ТПВ.

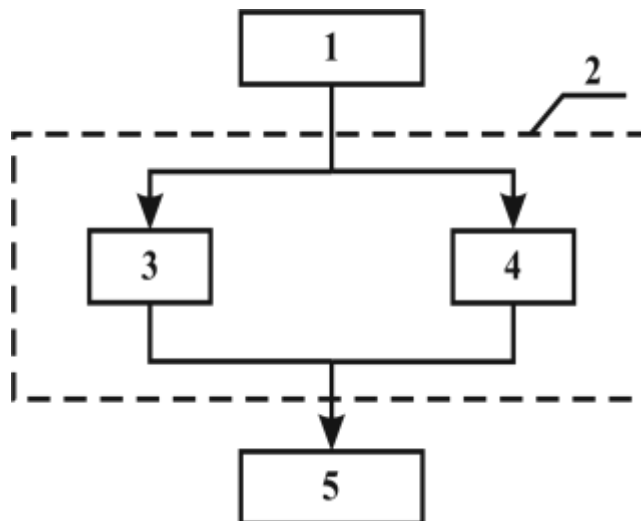


Рисунок 4.4. Функціональна схема виявлення прихованих шляхів поширення техногенної небезпеки на полігоні твердих побутових відходів способу виявлення пожеж на полігонах ТПВ.

На рисунку 4.4 використані позначення: 1 – полігон ТПВ; 2 – БПЛА; 3 – блок спостереження в оптичному та інфрачервоному діапазонах; 4 – блок мікрохвильової радіометрії; 5 – наземний центр спостереження.

Запропонований підхід працює наступним чином. Один або декілька БПЛА (2) здійснюють цілодобове спостереження полігону ТПВ (1), рухаючись таким чином, що забезпечується накриття усієї його території. При виявленні за допомогою блоку спостереження у оптичному та інфрачервоному діапазонах (3) осередку спалахування, БПЛА (2) в автоматичному режимі переміщується до осередку спалахування, зависає безпосередньо над поверхнею з прив'язкою до точки спостереження та визначає за допомогою блоку мікрохвильової радіометрії (4) глибину та температуру зони горіння, а також виявляє наявність пустот та прогарів. Дані щодо виявленої пожежі передаються до наземного центру спостереження (5). Надалі БПЛА (2) в оперативному режимі визначає розвиток пожежі у виявленому осередку спалахування та передає дані щодо розвитку пожежі до наземного центру спостереження (5). Надалі наземний центр спостереження (5) в оперативному режимі передає дані про розвиток пожежі до підрозділів ДСНС України. Наявність даної інформації дозволяє прогнозувати потрібну кількість вогнегасної речовини, кількість рятувальників та позиції їх безпечного розміщення під час гасіння вогню.

Україна має потужний потенціал для розробки БПЛА, а спеціалізовані програмні комплекси обробки даних спостереження дозволяють знизити вимоги до підготовки обслуговуючого персоналу. Однак, БПЛА не доцільно використовувати при постійному спостереженні, особливо в несприятливих метеорологічних умовах (поривчастий вітер може привести до зносу БПЛА). Наявність великої кількості птахів на території полігонів ТПВ ускладнює безаварійну експлуатацію. Електромагнітні хвилі можуть виступати дратівливим фактором, що різко змінює поведінку птахів та стає передумовою зіткнення. Разом з цим, виникають проблемні питання застосування БПЛА під час безпосереднього гасіння пожеж.

Основною вимогою до виконання дослідження в роботі [251] з використанням методів та засобів дистанційного зондування є розробка ефективного способу виявлення визначення пожежної небезпеки не тільки на поверхні, а й в масиві відходів на полігоні ТПВ з урахуванням впливу

метеорологічних умов, наявності похибок через забруднення повітря токсичними продуктами розкладання відходів на шляху спостереження, а також теплових перешкод з боку працюючої техніки, яка може спричинити хибні сигнали осередків загорянь.

Позитивний результат забезпечується пасивним мікрохвильовим радіометром за допомогою якого визначається розподіл температури в масиві відходів, а локалізовані обсяги відходів з нехарактерною температурою ідентифікуються як точки горіння (тління).

Пропонується спосіб виявлення пожеж на території полігону ТПВ (рисунок 4.5), який полягає в спостереженні тепловізійною камерою (1), відеокамерою (2), мікрохвильовим радіометром (3), що розташовуються паралельно один одному на скануючій платформі (4) з панорамною можливістю огляду.

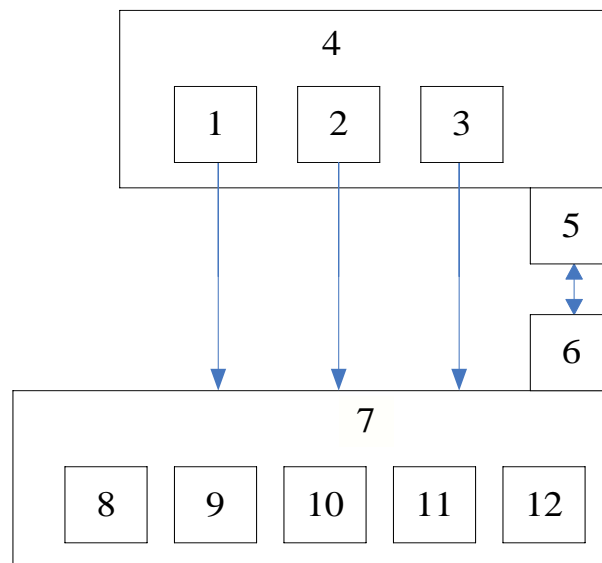


Рисунок 4.5. Схема запропонованого способу виявлення пожеж на території полігону ТПВ.

На рисунку 4.3 використані позначення: 1 – тепловізійна камера; 2 – відеокамера; 3 – мікрохвильовий радіометр; 4 – скануюча платформа; 5 – кутовий-азимутальний вимірювач; 6 – контролер управління; 7 – головний сервер; 8 – зображення тепловізійної камери; 9 – зображення відеокамери;

10 – результати мікрохвильового спостереження; 11 – накладені зображення тепловізійної камери та відеокамери; 12 – накладені результати спостереження від всіх дистанційних приладів.

Для постійного автоматичного спостереження «на місцях» перспективно та відносно дешево використовувати вишки. Вишки являють собою легко монтовану металеву каркасну конструкцію, де радіус огляду жорстко обмежений висотою вишки та кількістю таких споруд. Під час експлуатації даної технічної системи керівництво об'єкту повинно серйозно ставитись до проблеми перебування сторонніх осіб на території полігону ТПВ.

Отримані результати спостереження (зображення) в інфрачервоному, видимому, мікрохвильовому діапазонах спільно з даними кутового-азимутального вимірювача напрямку осей приладів надходять до головного серверу (7). За рахунок накладання, співставлення даних в денний час доби при роботі техніки з нічним часом, а також врахування окремих чисельних вимірів рівня тепла/шуму відбувається фільтрування й виключення теплових перешкод з боку працюючої техніки з прив'язкою до географічних координат та відображенням на електронній карті об'єкту. Дані виводяться на монітор оператора у вигляді окремих та накладених зображень. Контролер управління дає можливість вибрати напрямок сканування. Виключення теплових перешкод та використання, як мінімум двох точок спостереження, дає змогу підвищити вірогідність виявлення осередків горіння.

Спостереження в різних діапазонах довжин хвиль надає картину зон зі стабільною і наростаючою температурою: виникнення підповерхневої пожежі з/без переходу до поверхневої або тільки поверхневої, наприклад, від зовнішнього джерела запалювання. Накладання одна на одну зображень підвищує інформативність виявлення пожежі на території полігону ТПВ, а саме:

– тепловізійне зображення (8) показує поверхневий розподіл температур (виявлення поверхневої пожежі);

– відеозображення (9) дає змогу виявити пожежу по відкритому вогню та стовпу диму, проаналізувати причину, місце небезпечної зони, розпізнати

транспортні засоби, що створюють теплові/шумові перешкоди у вигляді помилкового джерела пожежі;

- результати мікрохвильового радіометра (10) показують розподіл температур в товщі відходів (виявлення підповерхневої пожежі при відсутності явних поверхневих ознак, незалежно від метеорологічних умов);

- накладання тепловізійного та відеозображення (11) наглядно дозволяє спостерігати поверхневий розподіл температур у видимому спектрі (кадрі), не перемикаючись між режимами відображення;

- накладених результатів спостереження від всіх дистанційних приладів спостереження (12) наглядно дозволяє спостерігати загальну пожежонебезпечну ситуацію не перемикаючись між режимами відображення.

Таким чином, запропоновані підходи з виявлення прихованих осередків та шляхів поширення небезпеки на полігонах твердих побутових відходів шляхом застосування дистанційних методів та засобів спостереження за станом атмосферного повітря, звалищних ґрунтів, що дозволять за рахунок поінформованості забезпечити безпечні умови функціонування аварійно-рятувальних підрозділів під час попередження надзвичайних ситуацій безпосередньо на об'єкті їх виникнення.

4.2. Зменшення наслідків впливу надзвичайних ситуацій за межами об'єкту їх виникнення на довкілля та населення

НС на полігоні ТПВ супроводжуються забрудненням компонентів довкілля, як безпосередньо на об'єкті їх виникнення, так і за його межами (межами СЗЗ) (рисунок 4.6).

Внаслідок зсуву звалищних ґрунтів та/або вибуху біогазу, пожежі додатково утворюються екологічно небезпечні речовини, порушується цілісність – втрачаються захисні властивості – запроектованих природоохоронних систем. Життя та здоров'я населення, яке мешкає у зоні можливого ураження, підвергається небезпеці.



Рисунок 4.6. Наслідки впливу НС на полігоні ТПВ на довкілля.

Продукти деструкції (біогаз) або горіння ТПВ, на відміну від атмосферного повітря, мають відмінну температуру та (або) щільність, що обумовлює їх поведінку поширення. Важкі (холодні) забруднювачі прагнуть опуститися на землю та розтікатись по поверхні місцевості не зважаючи на напрямок вітру; легкі (гарячі) – підіймаються в гору, а за рахунок вітру переноситись на великі відстані за межі СЗЗ в бік населених пунктів.

Динаміка конвекційного підйому продуктів деструкції (горіння) ТПВ в атмосфері розглянута та описана в роботі [253]. Отримані висотні та часові залежності швидкості руху центру, характерного розміру (радіусу), надлишкової відносної температури при конвекційному підйомі нагрітих утворень у формі сфери в атмосфері мають науково-практичне значення під час вирішення задач цивільної безпеки.

В якості вихідних рівнянь обрано рівняння для швидкості руху центру нагрітого об'єму утворень V , масою m , радіусом R , щільністю ρ та абсолютною температурою T , швидкості збільшення маси утягненого

холодного повітря ν з щільністю ρ_0 , температурою T_0 та повного інтеграла плавучості:

$$\frac{4\pi}{3} F = \frac{4\pi}{3} g \mathcal{G} R, \quad (4.11)$$

де g – прискорення вільного падіння, \mathcal{G} – плавучість ($\mathcal{G} = (T_0 - T)/T_0$ або $\mathcal{G} = (\rho_0 - \rho)/\rho_0$). Плавучість забруднювачів обумовлена більш високою температурою або щільністю в порівнянні з атмосферним повітрям.

Вихідні рівняння з урахуванням опору повітря мають вид:

$$m \frac{d\nu}{dt} = F_A - mg - C\rho_0\nu^2 S/2, \quad (4.12)$$

$$\frac{dm}{dt} = \alpha S_1 \nu \rho_0, \quad (4.13)$$

$$\frac{dF}{dt} = -N^2 \nu R^3, \quad (4.14)$$

де t – час, $F_A = \rho_0 V g$ – сила Архімеда, mg – сила тяжіння, $C\rho_0\nu^2 S/2$ – сила опору повітря, $S = \pi R^2$ – площа поперечного перерізу для сферичного газоутворення, $S_1 = 4\pi R^2$ – площа поверхні кулі, α – коефіцієнт захоплення холодного повітря, $N \approx 10^{-2} \text{ с}^{-1}$ – коефіцієнт Брента-Вяйсяля, $C = C_D + 8\alpha$ – ефективний коефіцієнт опору, C_D – коефіцієнт опору (для кулі при помірних швидкостях $C_D \approx 0,5$, а $\alpha \approx 0,1$ та $C \approx 1,3$)

Рівняння системи можна спростити, якщо врахувати, що $N^2 R / g \ll 0,1 - 10$. Ця нерівність справедлива при $R \leq 1 - 10$ км при $\mathcal{G} \approx 0,1 - 10$. Якщо до того ж $R \ll 3\alpha \mathcal{G}(\mathcal{G} + 1)g / N^2$, то можна знехтувати членом N^2 . При цьому R свідомо набагато менше висоти однорідної атмосфери. Тим самим виключаються з розгляду коливальні рішення.

Результати рішення системи диференціальних рівнянь для висотної та часової залежності швидкості підйому, маси втягнутого холодного повітря, повного інтеграла плавучості нагрітого утворення за умов $\mathcal{G} \ll 1$ ($\Delta T \approx T - T_0 \leq 30$ К) має вид:

$$\frac{dv}{dt} \approx \mathcal{G}g - \beta \frac{v^2}{R}, \quad v(0) = 0, \quad (4.15)$$

$$\frac{dR}{dt} \approx \alpha v, \quad R(0) = R_0, \quad (4.16)$$

$$\frac{d\mathcal{G}}{dt} \approx -3\alpha \frac{v}{R} \mathcal{G}, \quad \mathcal{G}(0) = \mathcal{G}_0. \quad (4.17)$$

Врахуємо, що $\frac{dv}{dt} = \frac{dv}{dz} \frac{dz}{dt} = v \frac{dv}{dz}$, $\frac{dR}{dt} = \frac{dR}{dz} \frac{dz}{dt} = v \frac{dR}{dz}$, $\frac{d\mathcal{G}}{dt} = \frac{d\mathcal{G}}{dz} \frac{dz}{dt} = v \frac{d\mathcal{G}}{dz}$.

Тоді розглянута система перетворюється, а висотні залежності характерного розміру (радіусу), надлишкової відносної температури, швидкості руху центру утворень мають вид:

$$R(z) = R_0 \left(1 + \frac{\alpha}{R_0} z \right) = R_0 x, \quad (4.18)$$

$$\mathcal{G}(z) = \frac{\mathcal{G}_0}{\left(1 + \alpha z / R_0 \right)^3} = \frac{\mathcal{G}_0}{x^3}, \quad (4.19)$$

$$v(x) = v_{ch} \left(\frac{1}{x^2} - \frac{1}{x^a} \right)^{1/2}, \quad (4.20)$$

де $x = 1 + \alpha z / R_0$, v_{ch} – характерна швидкість підйому біогазу або нагрітого

утворення: $v_{ch} = \left(\frac{\mathcal{G}_0 g R_0}{\beta - \alpha} \right)^{1/2}$, $a = 2 \frac{\beta}{\alpha} \approx 10$.

Значення $v(x)$ змінюється немонотонно. При $\alpha z / R_0 \ll 1$:

$v = v_{ch} \sqrt{2(\beta - \alpha)z / R_0} = \sqrt{2\mathcal{G}_0 g z}$, тобто v збільшується з ростом висоти z по

закону $v \sim z^{1/2}$. При $x_0 = \left(\frac{\beta}{\alpha} \right)^{\frac{1}{\alpha-2}} \approx 1,22$ швидкість досягає максимального

значення: $v_{\max} = v(x_0) = v_{ch} \left[\left(\frac{\beta}{\alpha} \right)^{-2/(a-2)} - \left(\frac{\beta}{\alpha} \right)^{-a/(a-2)} \right]^{1/2} \approx 0,73v_{ch}$. При $x > 1,33$

маємо $x^{-2} \gg x^{-a}$: $v \approx \frac{v_{ch}}{x} = \frac{v_{ch}}{1 + \alpha z / R_0} = \frac{v_{ch} R_0}{R}$, тобто $v(z)$ при збільшенні висоти

поступово зменшується від v_{\max} до нуля.

Швидкість v зменшується на порядок приблизно на висоті $z_1 \approx 9R_0 / \alpha \approx 90R_0$. При цьому $R(z_1) \approx 10R_0$, а $\mathcal{G}(z_1) \approx 10^{-3} \mathcal{G}_0$. Характерний час підйому $t_1 \approx z_1 / \bar{v}$, де $\bar{v} \approx v_{\max} / 2 \approx 0,36v_{ch}$ – середня по висоті швидкість підйому.

З рівнянь (4.16)–(4.18) слідує характерні часові зміни швидкості руху центру, характерного розміру (радіусу), надлишкової відносної температури:

$$t_v \approx \frac{R_0}{\beta v_{\max}}, \quad t_R \approx \frac{R_0}{\alpha v_{\max}}, \quad t_g \approx \frac{R_0}{3\alpha v_{\max}}, \quad \text{де } v_{\max} = v(t_{\max}), \quad t_{\max} \approx t_v - \text{ час досягнення}$$

максимального значення швидкості. Важливо, що $t_v \ll t_g < t_R$.

Часові залежності зміни, характерного розміру (радіусу), надлишкової відносної температури, швидкості руху центру мають вид:

$$R(t) = R_0 \cdot (1 + \tau)^{1/2}, \quad (4.21)$$

$$\mathcal{G}(t) = \mathcal{G}_0 / (1 + \tau)^{3/2}, \quad (4.22)$$

$$v(t) = cv_{ch} / (1 + \tau)^{1/2}. \quad (4.23)$$

де τ – безрозмірна величина ($\tau = \frac{t}{t_0}$, $t_0 = \frac{R_0}{2\alpha cv_{ch}}$); $c = (1 - \alpha / \beta)^{1/2}$.

Швидкість зменшується на порядок за час $t_1 \approx 100t_0$, при цьому R збільшується на порядок, а \mathcal{G} – зменшується на три порядки.

Максимальна висота підйому нагрітого утворення становить:

$$\begin{aligned} z_{\max} &= \int_0^{t_{\max}} v(t) dt \approx \int_0^{t_v} v(t) dt + \int_{t_v}^{t_{\max}} v(t) dt = \int_0^{t_v} \frac{v_{\max}}{t_v} dt + \int_{t_v}^{t_{\max}} \frac{cv_{ch}}{(1+t/t_0)^{1/2}} dt = \\ &= \frac{v_{\max} t_v}{2} + 2cv_{ch} t_0 \left(\sqrt{1+t_{\max}/t_0} - \sqrt{1+t_v/t_0} \right). \end{aligned} \quad (4.24)$$

Оскільки $t_0 \gg t_v$ та $t_{\max} \gg t_0$,

$$z_{\max} \approx 2c v_{ch} t_0 \left(\frac{t_{\max}}{t_0} \right)^{1/2} = \frac{R_0}{\alpha} \left(\frac{t_{\max}}{t_0} \right)^{1/2}. \quad (4.25)$$

В процесі підйому розмір (радіус) нагрітого об'єму продуктів деструкції (горіння) збільшується, надлишок температури в ньому зменшується, а швидкість підйому змінюється немонотонно: спочатку збільшується від нуля, досягає максимального значення, а потім поступово зменшується до нуля.

Результати числових розрахунків основних параметрів нагрітих газоутворень (біогазу) в атмосферному повітрі з полігону ТПВ для різної плавучості ($\vartheta_0 \approx 10^{-3} - 10^{-1}$) та різних розмірів імітаційного джерела небезпеки (R_0 10, 100, 1000 м) наведені в таблицях 4.2–4.4.

Таблиця 4.2.

Розрахунки основних параметрів нагрітого газоутворення ($R_0 = 10$ м).

Параметр	ϑ_0				
	10^{-3}	$3 \cdot 10^{-3}$	10^{-2}	$3 \cdot 10^{-2}$	10^{-1}
z_1 , м	900	900	900	900	900
z_{\max} , м	1000	1000	1000	1000	1000
v_{ch} , м/с	0,50	0,86	1,57	2,71	5,00
v_{\max} , м/с	0,36	0,63	1,14	1,98	3,61
t_0 , с	111	64,6	35,4	20,5	11,1
t_v , с	55,6	31,75	17,54	10,10	5,54
t_{ϑ} , с	94,3	52,9	29,2	16,8	9,2
t_R , с	383	158,75	87,7	50,50	27,7
t_{\max} , с	$1,1 \cdot 10^4$	$6,5 \cdot 10^3$	$3,5 \cdot 10^3$	$2,1 \cdot 10^3$	$1,1 \cdot 10^3$

Таблиця 4.3.

Розрахунки основних параметрів нагрітого газотворення ($R_0 = 100$ м).

Параметр	ϑ_0				
	10^{-3}	$3 \cdot 10^{-3}$	10^{-2}	$3 \cdot 10^{-2}$	10^{-1}
z_1 , км	9	9	9	9	9
z_{max} , км	10	10	10	10	10
v_{ch} , м/с	1,50	2,71	5,00	8,57	15,00
v_{max} , м/с	1,10	1,98	3,61	6,26	11,00
t_0 , с	370,3	205	111,1	64,8	37,0
t_v , с	181,8	101,0	55,4	31,9	18,2
t_{ϑ} , с	302,2	168,3	92	53,2	30,2
t_R , с	906,5	505	277	159,5	90,7
t_{max} , с	$3,7 \cdot 10^4$	$2,05 \cdot 10^4$	$1,1 \cdot 10^4$	$6,5 \cdot 10^3$	$3,7 \cdot 10^3$

Таблиця 4.4.

Розрахунки основних параметрів нагрітого газотворення ($R_0 = 1000$ м).

Параметр	ϑ_0				
	10^{-3}	$3 \cdot 10^{-3}$	10^{-2}	$3 \cdot 10^{-2}$	10^{-1}
z_1 , км	90	90	90	90	90
z_{max} , км	100	100	100	100	100
v_{ch} , м/с	5,00	8,57	15,00	27,11	50,00
v_{max} , м/с	3,61	6,26	11,00	19,80	36,1
t_0 , с	1111	648,2	370,3	204,9	111,1
t_v , с	554	319,5	181,8	101	55,4
t_{ϑ} , с	923	532,5	303	168,3	92,3
t_R , с	2770	1597,5	909	505	277
t_{max} , с	$1,1 \cdot 10^5$	$6,5 \cdot 10^4$	$3,7 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^4$	$1,1 \cdot 10^4$

Встановлено, що зі збільшенням нагрітого газотворення (біогазу) радіусу пропорційно зростає і максимальна висота його підйому. Максимальна швидкість підйому біогазу збільшується, а час підйому біогазу зменшується (рисунки 4.7, 4.8).

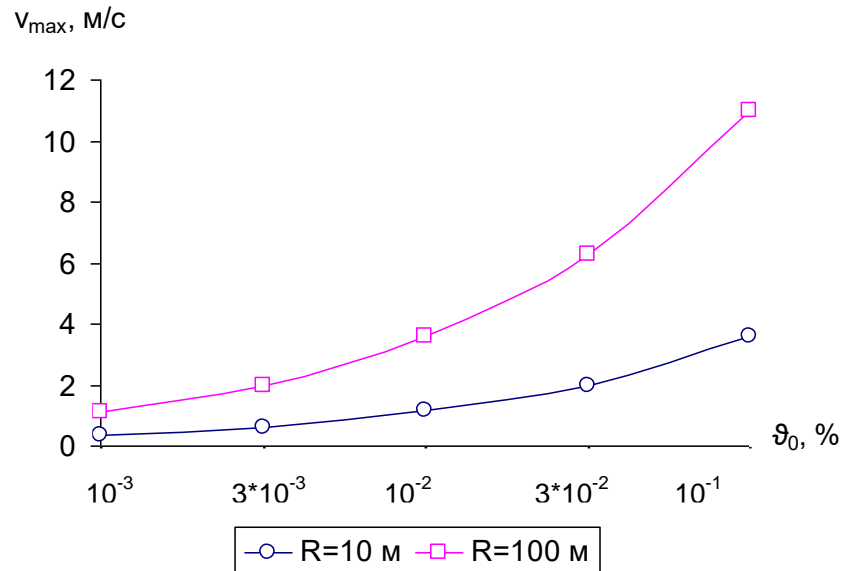


Рисунок 4.7. Зміна максимальної швидкості підйому нагрітого газотворення.

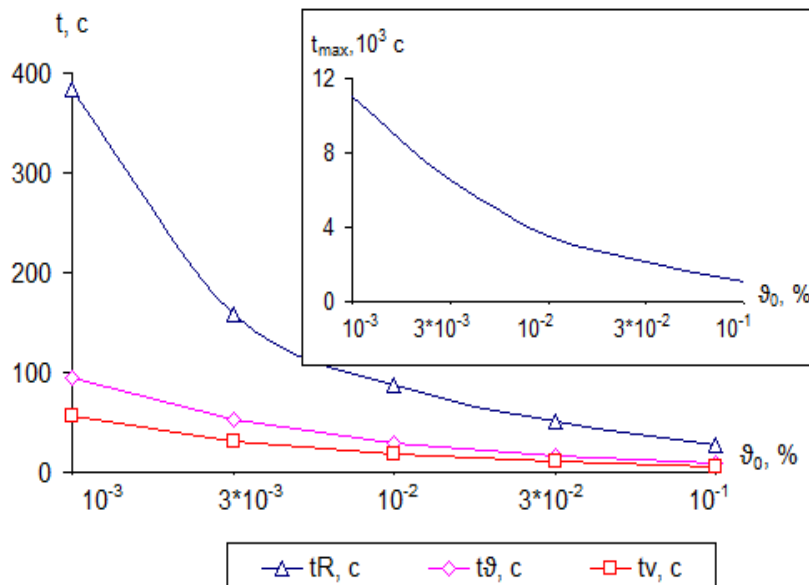


Рисунок 4.8. Характерний час зміни основних параметрів підйому нагрітого газотворення для радіуса 10 м.

Чим більше радіус хмари біогазу, тим вище значення розглянутих параметрів.

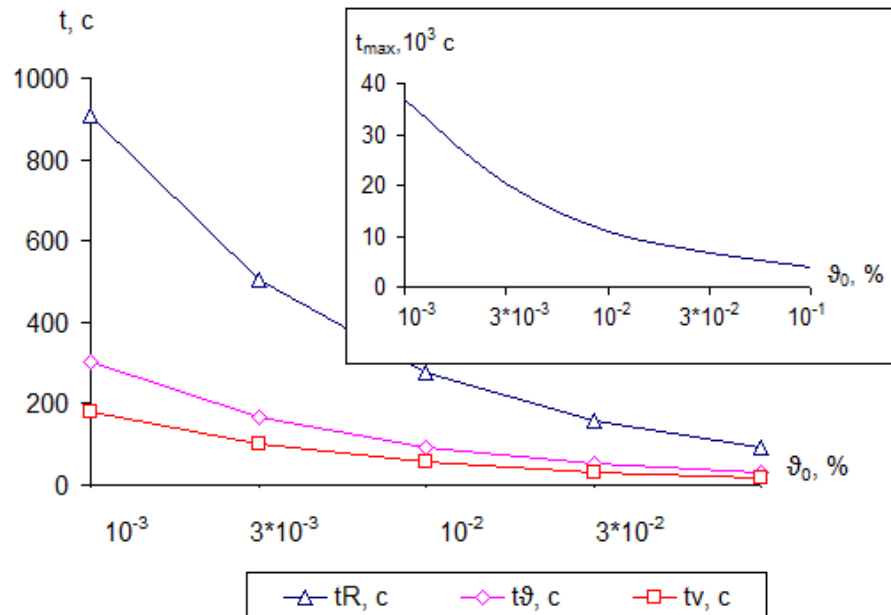


Рисунок 4.9. Характерний час зміни основних параметрів підйому нагрітого газоутворення для радіуса 100 м.

Розглянута модель динаміки конвекційного підйому продуктів деструкції (горіння) ТПВ [253] має ряд обмежень. Нагріта область газоутворення має форму сфери, що поступово збільшується. Причому радіус сфери обмежений через неврахування частоти, яка характеризує коливання атмосфери. Швидкість надходження холодного повітря пропорційна як площі спливаючого утворення, так і швидкості підйому його центру маси. Коефіцієнт пропорційності вважається постійним. Також радіус утворення набагато менший висоти однорідної атмосфери та товщини тропосфери, що дозволить знехтувати стратифікацією атмосфери. Не враховувалась зміна температури атмосферного повітря по висоті, вплив вітру (знесення нагрітого утворення по горизонталі). Всі ці фактори призводять до відмінності параметрів конвекційного руху нагрітих утворень від істинних значень, а саме зі збільшенням висоти збільшуються.

Проте, отримані в роботі співвідношення дозволяють не тільки якісно, але й кількісно оцінити основні параметри руху небезпечних утворень для ряду типових ситуацій, які мають місце на полігоні ТПВ в умовах НС та суттєво зменшити їх вплив на населення за рахунок санітарно-гігієнічних превентивних заходів. Заходи можуть бути направлені на зміну кількісного та якісного складу небезпечних утворень, зміну їх напрямку (траєкторії) та швидкості переміщення.

Таким чином, запропонований підхід з аналізу стану атмосферного повітря, як основного джерела перенесення небезпечних речовин, що дозволить за рахунок комплексних санітарно-гігієнічних превентивних заходів зменшити наслідки впливу надзвичайних ситуацій за межами об'єкту їх виникнення на довкілля та населення, яке мешкає у зоні можливого ураження.

Висновки по четвертому розділу

1. Запропоновані підходи з виявлення прихованих осередків та шляхів поширення небезпеки на полігонах твердих побутових відходів шляхом застосування дистанційних методів та засобів спостереження за станом атмосферного повітря, звалищних ґрунтів, що дозволять за рахунок поінформованості забезпечити безпечні умови функціонування аварійно-рятувальних підрозділів під час попередження надзвичайних ситуацій безпосередньо на об'єкті їх виникнення.

2. Запропонований підхід з аналізу стану атмосферного повітря, як основного джерела перенесення небезпечних речовин, що дозволить за рахунок комплексних санітарно-гігієнічних превентивних заходів зменшити наслідки впливу надзвичайних ситуацій за межами об'єкту їх виникнення на довкілля та населення, яке мешкає у зоні можливого ураження.

ВИСНОВКИ

В роботі вирішено актуальну науково-практичну задачу у сфері цивільної безпеки – розроблено методику попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів на полігоні твердих побутових відходів з ліквідаційним технологічним енергоємним устаткуванням, в інтересах недопущення переростання надзвичайної ситуації з об'єктового на більш високі рівні поширення небезпеки, реалізація якої дозволить захистити від ураження цивільних осіб та фахівців підрозділів Державної служби України з надзвичайних ситуацій.

В результаті виконаного дисертаційного дослідження отримані наступні висновки:

1. Встановлено, що полігони твердих побутових відходів з урахуванням сучасних тенденцій розміщення на їх території ліквідаційного енергоємного технологічного устаткування становлять додаткову техногенну небезпеку, що вимагає вжиття комплексу заходів з попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів. Не зважаючи на різноплановість проведення наукових досліджень у сфері попередження надзвичайних ситуацій та пожеж на полігонах твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням на сьогодні відсутня єдина математична база та відповідна методика, яка комплексно визначала процес попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів на зазначених потенційно-небезпечних об'єктах. Задачею наукового дослідження є розробка методики попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів на полігоні твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням, в інтересах недопущення переростання надзвичайної ситуації з об'єктового на більш високі рівні поширення небезпеки, реалізація якої дозволить захистити від ураження

цивільних осіб та фахівців підрозділів Державної служби України з надзвичайних ситуацій.

2. Розроблено математичну модель попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів на полігоні твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням, що уявляє собою систему з чотирьох аналітичних залежностей. Перша аналітична залежність описує залежність кількості загиблих осіб від фізичних властивостей звалищних ґрунтів, як-то вологість, щільність, температура, та технологічних показників ліквідаційного енергоємного технологічного устаткування. Друга описує залежність кількості постраждалих від фізичних властивостей звалищних ґрунтів, як-то вологість, щільність, температура, та технологічних показників ліквідаційного енергоємного технологічного устаткування. Третя описує залежність кількості осіб з порушенням умов життєдіяльності від фізичних властивостей звалищних ґрунтів, як-то вологість, щільність, температура, та технологічних показників ліквідаційного енергоємного технологічного устаткування. Четверта дозволяє визначити умови відсутності постраждалих та жертв, як наслідків надзвичайної ситуації першого рівня пріоритетності, в залежності від варіації рішень окремих задач з оцінки фізичних властивостей звалищних ґрунтів, та небезпеки зсувного масиву з урахуванням технологічних показників ліквідаційного енергоємного технологічного устаткування. Умовою існування наведеної математичної моделі є набір початкових та граничних умов не переростання наслідків надзвичайної ситуації за межі об'єктового рівня поширення небезпеки з урахуванням отримання максимальної кількості метану у складі біогазу.

Методика попередження зазначених надзвичайних ситуацій базується на керуючому алгоритмі який реалізує розроблену математичну модель та складається з аналітичних блоків, які розміщені на двох рівнях та пов'язані між собою прямими та зворотними зв'язками. Реалізація методики передбачає виконання груп робіт до та після факту переміщення зсувного масиву, а саме:

пов'язаних з проектуванням та будівництвом об'єкту; пов'язаних з експлуатацією об'єкту; пов'язаних з локалізацією та ліквідацією негативних наслідків зсуву; пов'язаних з усуненням небезпеки подальшого зсуву та стабілізацією роботи об'єкту.

3. Перевірено достовірність розробленої математичної моделі попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів на полігонах твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням та розробленої на її основі відповідної методики. Результати експериментальних досліджень, які були отримані на спеціально розробленій лабораторній установці входять в довірчий інтервал, розрахований з ймовірністю 95 % за критерієм Ст'юдента.

4. Запропоновані пропозиції щодо реалізації розробленої методики попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу поширення, пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів на полігоні твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням. По-перше, виявлення прихованих осередків та шляхів поширення техногенної небезпеки на полігонах твердих побутових відходів шляхом застосування дистанційних методів та засобів спостереження за станом атмосферного повітря, звалищних ґрунтів, що дозволить за рахунок поінформованості забезпечити безпечні умови функціонування аварійно-рятувальних підрозділів під час попередження надзвичайних ситуацій безпосередньо на об'єкті їх виникнення. По-друге, підхід ведення аналізу стану атмосферного повітря, як основного джерела перенесення небезпечних речовин, з метою своєчасної реалізації комплексних санітарно-гігієнічних превентивних заходів, що дозволить зменшити наслідки впливу надзвичайних ситуацій за межами об'єкту їх виникнення на довкілля та населення, яке мешкає у зоні можливого ураження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Kaza S., Yao L. Bhada-Tata P., Van Woerden F. What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Urban Development. Washington, DC: World Bank. 2018. URL: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/2174>
2. Eurostat. Municipal waste management operations. URL: http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=env_wasmun (дата звернення 25.10.2018).
3. Waste Atlas. In Map online. URL: <http://www.atlas.d-waste.com/> (дата звернення 25.10.2018).
4. Yang R., Xu Z., Chai J. A Review of Characteristics of Landfilled Municipal Solid Waste in Several Countries: Physical Composition, Unit Weight, and Permeability Coefficient. *Pol. J. Environ. Stud.* 2018. Vol. 27. no 6. 1–11.
5. Bamonti S., Bonoli A., Tondelli S., Sustainable waste management criteria for local urban plans. *Procedia Engineering.* 2011. 21. 221–228.
6. Kaza S., Bhada-Tata P. Decision Maker's Guides for Solid Waste Management Technologies. Urban Development. Washington, DC: World Bank. 44. URL: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/31694>
7. Omari M., Kichonge B. N., John G. R., Njau K. N. Mtui P. L. Potential of Municipal Solid Waste, as renewable energy source - a case study of Arusha, Tanzania. *International Journal of Renewable Energy Technology Research.* 2014. Vol. 3. 1–9.
8. Kristina O. Z., Mette A. M. Understanding the role of waste prevention in local waste management: A literature review. *Waste Management and Research.* 2016. 34 (10). 980.
9. Mmereki D., Baldwin A., Li B. A comparative analysis of solid waste management in developed, developing and lesser developed countries. *Environ. Technol. Rev.* 2016. 5. 120–141.

10. Guerrero L. A., Maas G., Hogland W. Solid waste management challenges for cities in developing countries. *Waste Manag.* 2013. 33. 220–232.
11. EPA. Municipal solid waste generation, recycling, and disposal in the United States: Facts and figures for 2011. Washington D.C.: EPA. 2013.
12. Матвеев Ю. Б., Гелетуха Г. Г. Перспективи енергетичної утилізації твердих побутових відходів в Україні: аналітична записка БАУ № 22. Біоенергетична асоціація України. 2019. URL: [www.uabio.org/activity/uabio – analytics](http://www.uabio.org/activity/uabio-analytics)
13. Куцый Д. В., Матвеев Ю. Б. Физико-механические свойства отходов в теле полигона ТБО. *Твердые бытовые отходы.* 2013. № 10. С. 14–18.
14. Hussein I. Abdel-Shafya, Mona S. M. Mansour Solid Waste Management Solid waste issue: Sources, composition, disposal, recycling, and valorization. *Egyptian Journal of Petroleum.* 2018. Vol. 27. Is 4. 1275–1290.
15. Eboh F., Ahlström P., Richards T. Estimating the specific chemical exergy of municipal solid waste. *Collection of Energy Science & Engineering.* 2016. 4 (3). 217–231.
16. Mukwana K. C., Samo S. R., Tunio M. M., Jakhrani A. Q., Luhur M. R. Study of energy potential from municipal solid waste of Mirpurkhas city. *Quaid-E-Awam university research journal of engineering, science & technology.* 2014. Vol. 13. no 2. 26–28.
17. Komilis D., Evangelou A., Giannakis G., Lympiris C. Revisiting the elemental composition and the calorific value of the organic fraction of municipal solid wastes. *Waste Management.* 2012. Vol. 32. Is. 3. 372–381.
18. Sukarni S. Exploring the potential of municipal solid waste (MSW) as solid fuel for energy generation: Case study in the Malang City, Indonesia. *AIP Conference Proceedings* 1778. 2016. 020003-1–0200037.
19. ДБН В.2.4-2-2005 «Полігони твердих побутових відходів. Основні положення проектування». URL: <http://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2017/03/DBN-V.2.4-2-2005.pdf>

20. Xydisad G., Nanakib E., Koroneos C. Exergy analysis of biogas production from a municipal solid waste landfill. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 2013. Vol. 4. 20–28.

21. Aghdam E. F., Scheutz C., Kjeldsen P. Impact of meteorological parameters on extracted landfill gas composition and flow. *Waste Management*. 2019. Vol. 87. 905–914

22. Шаймова А. М., Насырова Л. А., Фасхутдинов Р. Р. Изучение факторов метангенерации в условиях полигона твердых бытовых отходов. *Башкирский химический журнал*. 2011. Том 18. № 2. С. 172–176.

23. Meima J. A., Mora Naranjo N., Haarstrick A. Sensitivity analysis and literature review of parameters controlling local biodegradation processes in municipal solid waste landfills. *Waste Management*. 2008. Vol. 28. Is. 5. 904–918.

24. Arsova L. Anaerobic digestion of food waste: current status, problems and an alternative product [M.S. thesis] Berlin, Germany: Columbia University. 2010.

25. Van Haandel A. C., Lettinga G. Anaerobic Sewage Treatment—A Practical Guide for Regions with a Hot Climate. New York, NY, USA: John Wiley & Sons. 1994.

26. Kim J. K., Oh B. R., Chun Y. N., Kim S. W. Effects of temperature and hydraulic retention time on anaerobic digestion of food waste. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. 2006. 102(4). 328–332.

27. Statistical Report 2018. Annual Statistical Report of the European Biogas Association. URL: <https://www.europeanbiogas.eu/eba-statistical-report-2018>.

28. Njoku P. O., Odiyo J. O., Durowoju O. S., Edokpayi J. N. A Review of Landfill Gas Generation and Utilisation in Africa. *Open Environmental Sciences*. 2018. 10. 1–15.

29. Пухнюк А. Ю., Матвеев Ю. Б., Куцкий Д. В. Анализ мирового опыта энергетического использования биогаза на полигонах ТБО. *Відновлювана енергетика*. 2012. № 2. С. 70–77.

30. International Best Practices Guide for LFGE Projects. Global Methane Initiative. US, Landfill Gas Energy Utilization Technologies. 2012. 140.
31. Basel, G. I. Landfill Gas Utilisation as a Bio-fuel for Vehicles and Brickworks. 2013. URL: <http://www.gib-foundation.org/projects/landfill-gas-utilisation-as-a-bio-fuel-for-vehicles-and-brickworks/>
32. National association of counties. waste energy recovery: renewable energy from county landfills. 2015. URL: https://www.naco.org/sites/default/files/documents/WasteEnergy_FINAL.pdf
33. Ciuła J., Gaska K., Generowicz A., Hajduga G. Energy from Landfill Gas as an Example of Circular Economy. E3S Web of Conferences 30, Water, Wastewater and Energy in Smart Cities. 2018. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183003002>
34. Baum R. L., Galloway D. L., Harp E. L. Landslide and land subsidence hazards to pipelines: U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1164. 192.
35. Zhou C., Gong Z., Hu J., Cao A., Liang H. A cost-benefit analysis of landfill mining and material recycling in China. *Waste Management*. 2015. Vol. 35. 191–198.
36. Huang Y., Fan G. Engineering geological analysis of municipal solid waste landfill stability. *Natural Hazards*. 2016. Vol. 84. Is. 1. no 6. 93–107.
37. Офрихтер В. Г., Безгодов М. А., Офрихтер Я. В. Оценка геотехнических характеристик ТБО полевыми методами. *Акад. вестник УралНИИпроект РААСН*. 2015. № 3. С. 58–65.
38. Шутенко Л. М., Рудь О. Г., Кічаєва О. В. та ін. Механіка ґрунтів, основи та фундаменти. 2017. 563 с.
39. Барац Н. И. Механика грунтов: учебное пособие. Омск: Изд-во СибАДИ. 2008. 106 с.
40. Kockel R., Jessberger H. L. Stability Evaluation of Municipal Solid Waste Slopes. Proceedings of 11th European Conference for Soil Mechanics and Foundation Engineering. Copenhagen, Denmark: Danish Geotechnical Society. 1995. Vol. 2. 73–78.

41. Manassero M., Van Impe W. F., Bouazza A. Waste Disposal and Containment. Proceedings of 2nd International Congress on Environmental Geotechnics. Rotterdam, A. A. Balkema. 1996. Vol. 3. 1425–1474.

42. Слюсар Н. Н. Возможности извлечения отложенных ресурсов из массивов захоронения твердых коммунальных отходов. *Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика*. 2016. № 1. С. 63–78.

43. Directive 2008/98/EC of the European parliament and of the council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives. *Official Journal L*. 312. 22.11.2008. 3–30. URL: <http://data.europa.eu/eli/dir/2008/98/oj>

44. Directive 1999/31/EC of 26 April 1999 on the landfill of waste. *Official Journal L*. 182. 16.07.1999. 0001 – 0019. URL: <http://data.europa.eu/eli/dir/1999/31/oj>

45. Рашкевич Н. В. Аналіз техногенної небезпеки технологій поводження з твердими побутовими відходами. *Науково-технічний збірник «Комунальне господарство міст»*. Серія: технічні науки та архітектура. 2019. Т. 6. № 152. С. 58–66. DOI: 10.33042/2522-1809-2019-6-152-58-66.

46. Рашкевич Н. В. Актуальність питання попередження надзвичайної ситуації на комунікації або технологічному устаткованні полігону твердих побутових відходів. Збірник матеріалів Сьомої міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми інформатизації», 13–15 листопада 2019 р., м. Черкаси – Баку – Бельсько-Бяла – Харків. С. 77.

47. Blight G. Slope failures in municipal solid waste dumps and landfills: a review. *Waste Management & Research*. 2008. 26(5). 448–463.

48. Lavigne F., Wassmer P., Gomez C., Davies T., Hadmoko D. S., T Yan W M Iskandarsyah, ... Pratomo I. The 21 February 2005, catastrophic waste avalanche at Leuwigajah dumpsite, Bandung, Indonesia. *Geoenvironmental Disasters*. 2014. 1. 10.

49. World Fire Statistics. International Association of Fire and Rescue Service. 2018. no. 23. 58. URL: [http:// https://www.ctif.org/sites/default/files/2018-06/CTIF_Report23_World_Fire_Statistics_2018_vs_2_0.pdf](http://https://www.ctif.org/sites/default/files/2018-06/CTIF_Report23_World_Fire_Statistics_2018_vs_2_0.pdf).

50. Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь.
URL: <https://mchs.gov.by/ministerstvo/statistika/boevaya-rabota/>
51. Жилинская Я. А. Применение метода экспертных оценок для анализа причин возникновения пожаров на объектах размещения твердых бытовых отходов и влияния процессов и влияния процессов горения на изменения в свалочном теле. *Прикладная экология. Урбанистика*. 2015. №1. С. 24–32.
52. Kolsch F., Ziehmann G. Landfill stability: Risk and challenges. *Waste Management World*. May-June 2004. 55–60.
53. Athanasopoulos G., Vlachakis V., Zekkos D., Spiliotopoulos G. The December 29th 2010 Xerolakka Municipal Solid Waste landfill failure. Paper presented at Proceedings of the 18th international conference on soil mechanics and geotechnical engineering, Paris. United Kingdom: ISSMGE. 2013.
54. Zhan L. T. et al.. Failure mechanism of sludge pit and downstream waste slope of a MSW landfill. *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*. 2013. 35. 1189–1196.
55. Попович В. В., Кучерявий В. П. Горіння полігонів твердих побутових відходів як загроза здоров'ю людини та фактор техногенного навантаження на довкілля. *Науково-теоретичний, науково-практичний журнал: «Вісник ДДАУ»*. 2012. № 1. С. 162–166.
56. Демків А. М., Сидоренко В. Л., Азаров С. І. Лабораторні дослідження викидів токсичних сполук в процесі згоряння твердих побутових відходів. *Науково-технічний журнал «Техногенно-екологічна безпека»*. № 3(1/2018). С. 85–90.
57. Niskanen A., Värri H., Navukainen J., Uusitalo V., Horttanainen M. Enhancing landfill gas recovery. *J. Clean. Prod.* 2013. 55. 67–71.
58. Ismail S., Taib A. M., Rahman N. A., Hasbollah D. Z. A., Ramli A. B. Slope Stability of Landfill with Waste Degradation. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*. 2019. Vol. 9. Is. 1. 393–398.

59. Yucekaya A. Landfill Gas to Energy in Turkey: Current and Future. *Journal of Science and Technology*. 2014. 2. 55–64.
60. The voice of the renewables industry in the UK. Landfill gas sites in UK. Google my Maps date 2019. URL: <https://www.r-e-a.net/renewable-technologies/landfill-gas>
61. Landfill gas energy project data and landfill technical data. USEPA, LMOP. 2019. URL: <https://www.epa.gov/lmop/landfill-gas-energy-project-data-and-landfill-technical-data>
62. Adamczyk I., Różańska B., Sobczyk M. Infrastruktura komunalna w 2015 roku. Informacje i opracowania statystyczne. Warszawa: Główny Urząd Statystyczny. 2016.
- 63 Safak Hengirmen Tercan, Ali Firat Cabalar & Gokhan Yaman. Analysis of a landfill gas to energy system at the municipal solid waste landfill in Gaziantep, Turkey. *Journal of the Air & Waste Management Association*. 2015. Vol. 65. Is. 8. 912–918. Doi: 10.1080 / 10962247.2015.1036178
64. Стан сфери поводження з побутовими відходами в Україні. Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. URL: <http://www.minregion.gov.ua/>
65. Розпорядження Кабінету Міністрів України «Про схвалення Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року» № 820-р від 8 листопада 2017 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-p>.
66. Костарев С. Н., Серeda Т. Г., Михайлова М. А. Разработка автоматизированной системы мониторинга и управления природно-техническими системами утилизации отходов. *Фундаментальные исследования*. 2013. № 6–2. С. 273–277. URL: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=31496>
67. Laner D., Crest M., Scharff H., Morris J.W.F., Barlaz M. A. A review of approaches for the long-term management of municipal solid waste landfills. *Waste Manag.* 2012. 32. 498–512. Doi: 10.1016/j.wasman.2011.11.010

68. Schroeder P. R., Dozier T. S., Zappi P. A., McEnroe B. M., Sjoström J. W., Peyton R. L. The Hydrologic Evaluation of Landfill Performance (HELP) Model. Engineering Documentation for Version 3. EPA/600/R-94/168b. U.S. Environmental Protection Agency; Cincinnati, OH, USA. 1994.
69. GIA-UC. Modulo 4.0–Manual de Usuario. Universidad de Cantabria; Santander, Spain: 2009.
70. Kamalan H., Sabour M., Shariatmadari N. A Review on Available Landfill Gas Models. *Journal of Environmental Science and Technology*. 2011. № 4. 79–92. Doi: 10.3923/jest.2011.79.92.
71. Aghdam E. F., Scheutz C., Kjeldsen P. Impact of meteorological parameters on extracted landfill gas composition and flow. *Waste Management*. 2018. URL: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.01.045>.
72. Tabasaran O., Rettenberger G. Grundlagen zur Planung von Entgasungsanlagen. *Müll- Handbuch, Loseblattsammlung, Lfg. 1/87*. Erich Schmidt Verlag. 1987. 56–63.
73. Weber B. Minimierung von Emissionen der Deponie. Veröffentlichung des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Universität Hannover. Heft 74. 1990. 46.
74. Steyer E. A., Hilgsmann S., Radu J. P. Biological pluridisciplinary model to predict municipal landfill life. 7-th International waste management and landfill symposium. Sardinia. 1999. Vol. 1. 37–45.
75. Alexander A., Burklin C., Singleton A. Landfill Gas Emissions Model (LandGEM). Version 3.02 User's Guide. Washington: EPA. 2005. 48.
76. Golder Associates. GasSim Manual 2.5. Golder Associates; Nottingham, UK: 2012.
77. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: 3 Volumes. IPCC. 1996. Vol. 2. Greenhouse Gas Inventory: Workbook. 1996.
78. Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories / edited by Jim Penman et. al. Hayama: IGES. 2000.

79. Методические указания по расчету количественных характеристик выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от полигонов твердых бытовых и промышленных отходов: утв. АКХ им. Памфилова. 1995. 9 с.

80. Шаимова А. М., Насырова Л. А., Ягафарова Г. Г., Ильина Е. Г., Фасхутдинов Р. Р. Разработка математической модели образования биогаза на полигонах твердых бытовых отходов. *Нефтегазовое дело*. 2009. Том 7. № 1. С. 137–140.

81. David Cooper, C., Debra R. Reinhart, Fred Rash, Debra Seligman, Debra Keely Landfill Gas Emission Tallahassee: Department of Civil and Environmental Engineering, State University System of Florida. 1992. 172.

82. Figueroa V. K., Cooper C. D., Mackie K. R. Estimating Landfill Greenhouse Gas Emissions from Measured Ambient Methane Concentrations and Dispersion Modeling. Tallahassee: Department of Civil and Environmental Engineering, University of Central Florida. 2010. 17.

83. Годовська Т. Б., Гізеля В. В. Екологічний аналіз та моделювання розсіювання забруднюючих речовин з полігону твердих побутових відходів. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. 2012. Вип. 5 (76). С. 115–118.

84. Батракова Г. М., Бояршинов М. Г., Горемыкин В. Д. Моделирование переноса и рассеивания атмосферном воздухе метана, эмитированного с территории захоронения твердых бытовых отходов. *Вестник Воронежского ун-та. Сер. Геология*. 2005. № 1. С. 256–261.

85. Колибаба О. Б., Габитов Р. Н., Скворцов И. А., Муратова Т. В. Фрактальная модель слоя твердых бытовых отходов при его переработке в термическом реакторе. *«Вестник ИГЭУ»*. 2015. Вып. 5. С. 1–6

86. Kindlein J., Dinkler D., & Ahrens H. Numerical modelling of multiphase flow and transport processes in landfills. *Waste Management & Research*. 2006. 24(4). 376–387. URL: <https://doi.org/10.1177/0734242X06065506>

87. Шаимова А. М., Насырова Л. А., Ягафарова Г. Г. Повышение экологической безопасности полигонов и свалок твердых бытовых отходов. 10 с. URL:

[http://ecoportus.ru/sites/default/files/Статьи%20и%20исследования/article\(shaimova\).pdf](http://ecoportus.ru/sites/default/files/Статьи%20и%20исследования/article(shaimova).pdf)

88. Черемисин А. В. Методика расчета теплового режима искусственных геосистем (на примере полигонов твердых бытовых отходов). Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. Специальность 25.00.36 - «Геоэкология». СПб. 2004. 18 с.

89. Середа Т. Г. Решение контактной задачи теплопроводности для полигона твердых бытовых отходов. *Фундаментальные исследования*. 2014. № 12–5. С. 936–940.

90. Moqbel, S. Characterizing Spontaneous Fires In Landfills. *Electronic Theses and Dissertations*. 2009. 2004-2019. 3855. URL: <https://stars.library.ucf.edu/etd/3855>

91. Пендин В. В., Фоменко И. К. Методология оценки и прогноза оползневой опасности. Москва: ЛЕНАНД, 2015. 320 с.

92. ДБН В.1.1-46:2017. Інженерний захист територій, будівель і споруд від зсувів та обвалів. Основні положення. Київ: Мінрегіон Укр. 2017. 41 с.

93. Bishop A. W. The use of the slip circle in the stability analysis of slopes. *Géotechnique*. 1955. №5. С. 7–17.

94. Janbu N. Application of composite slip surface for stability analysis. In Proceedings of the European Conference on Stability of Earth Slopes. Stockholm, Sweden. Balkema, Rotterdam, 1954. 43–49.

95. Morgenstern N. R. and Price V.E. The analysis of the stability of general - slip surface. *Geotechnique*. 1965. №15. 70–93.

96. Галлагер Р. Метод конечных элементов. Основы. Москва: Мир, 1984.

97. Brinkgreve R. B. J., Broere W., Waterman D. Plaxis 2D-version 9. Finite Element Code for Soil and Rock Analyses. User Manual. 2009th ed. Rotterdam: Balkema. 2008.

98. Zheng H. A three dimensional rigorous method for stability analysis of landslides. *Engineering Geology*. 2012. Vol. 145–146. 30–40. Doi: 10.1016/j.enggeo.2012.06.010

99. Koerner R. M., Soong T-Y. Leachate in landfills: the stability issues. *Geotextiles and Geomembranes*. 2000. 18(5). 293–309.
100. Peng R., Hou Y. J., Zhan L. T., Yao Y. P. Back-Analyses of Landfill Instability Induced by High Water Level: Case Study of Shenzhen Landfill. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2016. 13. 126.
101. Лозинський В. А., Ломпас О. В. Моніторинг зсувонебезпечної ділянки Львівського міського полігону твердих побутових відходів (червень 2016 – березень 2017 років). *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. 2017. № 34. С. 92–97.
102. Francesco Castella, Michele Maugeri. Mechanical properties of Municipal Solid Waste by SDMT. *Waste Management*. 2014. Vol. 34. Is. 2. 256–265.
- 1034 Huvaj-Sarihan N., Stark T. D. Back-Analyses of Landfill Slope Failures. *International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering*. 2008. 12. URL: <https://scholarsmine.mst.edu/icchge/6icchge/session02/12>
102. Karimpour Fard M., Shariatmadari N., Keramati M., Jafari Kalarijani H. An experimental investigation on the mechanical behavior of MSW. *International Journal of Civil Engineering*. 2014. Vol. 12. no 4. 290–303.
105. Dou J., Oguchi T., Hayakawa Y. S., Uchiyama S., Saito H., Paudel U. Susceptibility Mapping Using a Certainty Factor Model and Its Validation in the Chuetsu Area, Central Japan. *Landslide Sci a Safer Geoenvironment*. 2014. 2. 483–489.
106. Costanzo D., Rotigliano E., Irigaray C., Jiménez-Perálvarez J. D., Chacón J. Factors selection in landslide susceptibility modelling on large scale following the gis matrix method: application to the river Beiro basin (Spain). *Nat Hazards Earth Syst Sci*. 2012. 12. 327–340.
107. Gao W., Bian X.-C., Xu W.-J., Chen Y.-M. Storage capacity and slope stability analysis of municipal solid waste landfills. *Journal of Performance of Constructed Facilities*. 2018. 32(4).

108. Chen W., Song Y., Wu Z., Zeng J. & Li C. Stability of double-step muck slope under different overload conditions. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*. 2018. Doi:10.1080/19648189.2018.1526120
109. Yin Y. P., Li B., Wang W. P. et al. Mechanism of the December 2015 catastrophic landslide at the Shenzhen landfill and controlling geotechnical risks of urbanization. *Engineering*. 2016. 2(2). 230–249.
110. Althuwaynee O. F., Pradhan B., Lee S. A novel integrated model for assessing landslide susceptibility mapping using CHAID and AHP pair-wise comparison. *International Journal of Remote Sensing*. 2016. 37 (5).
111. Chen W., Sun Z., Han J. Landslide susceptibility modeling using integrated ensemble weights of evidence with logistic regression and random forest models. *Applied Sciences*. 2019. 9. 1. 17.
112. Wang Y. K., Yang J. P., & Peng X. Y. Research of Stratified Compaction Process of Municipal Solid Waste. *Advanced Materials Research*. 2012. 599. 640–646.
113. Yun-min Chen, Jun-chao Li, Chun-bao Yang, Bin Zhu, Liang-tong Zhan Centrifuge modeling of municipal solid waste landfill failures induced by rising water levels. *Canadian Geotechnical Journal*. 2017. 54(12). 1739–1751.
114. Zhu B., Wang L., Chen Y. M. Centrifugal model tests on static and seismic stability of landfills with high water level. Proceedings of the 9th International Conference on Physical Modelling in Geotechnics. *Physical Modelling in Geotechnics*. 2018. Vol. 2, United Kingdom.
115. Yang R., Xu Z. G., Chai J. R. A review of characteristics of landfilled municipal solid waste in several countries: Physical composition, unit weight and permeability coefficient. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2018. 27. 2425.
116. Zeng G., Liu L., Xue Q., Wan Y., Ma J., Zhao Y. Experimental study of the porosity and permeability of municipal solid waste. *Environmental Progress and Sustainable Energy*. 2017. 36. 1694.

117. Reddy K. R., Hettiarachchi H., Parakalla N., Gangathulasi J., Bogner J., and Lagier T. Hydraulic conductivity of MSW in landfills. *J. Environ. Eng.* 2009. 135. 677–683. Doi:10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000031
118. Nadukuru S., Zhu M., Gokmen C., Bonaparte R. Combined Seepage and Slope Stability Analysis of a Landfill Cover System. *Geotechnical Frontiers*. 2017. GSP 276. 170.
119. Feng S. J., AI S. G., Huang R. Q. Stability analysis of landfill cover systems considering reinforcement. *Environmental Earth Sciences*. 2016. 75. 1.
120. Gadi V., Singh S., Singhariya M., Garg A. et al Modeling soil-plant-water interaction: Effects of canopy and root parameters on soil suction and stability of green infrastructure. *Engineering Computations*. 2018. Vol. 35. no. 3. 1543–1566. URL: <https://doi.org/10.1108/EC-07-2017-0280>
121. Khoshand A., Fathi A., Zoghi M., Kamalan H. Seismic stability analyses of reinforced tapered landfill cover systems considering seepage forces. *Waste Management & Research*. 2018. 36. 361.
122. Anbazhagan P., Sivakumarbabu G. L., Lakshmikanthan P., Vivekanand K. Seismic characterization and dynamic site response of a municipal solid waste landfill in Bangalore, India. *Waste Management & Research*. 2016. 34. 205.
123. Vilar O., Carvalhod M. Mechanical Properties of Municipal Solid Waste. *Journal of Testing and Evaluation*. 2004. 32. no. 6. 438–449.
124. Zekkos D. Experimental evidence of anisotropy in municipal solid waste, in Coupled phenomena in environmental geotechnics (eds M. Manassero, A. Dominijanni, S. Foti and G. Musso). Abingdon, Taylor & Francis. 2013. 69–77.
125. Zhao L., Karim M. A. Use of Geosynthetic materials in solid waste landfill design: A review of geosynthetic related stability issues. *Ann Civil Environ Eng.* 2018. 2. 006-015. Doi: 10.29328/journal.acee.1001010
126. Reddy K. R., Hettiarachchi H., Giri R. K., and Gangathulasi J. Effects of degradation on geotechnical properties of municipal solid waste from Orchard Hills Landfill, USA. *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*. 2015. 1(3). 24.

127. Zhan T. L. T., Chen Y. M., Ling W. A. Shear strength characterization of municipal solid waste at the Suzhou landfill, China. *Engineering Geology*. 2008. 97. 3–4. 97–111.

128. Koelsch F., Fricke K., Mahler C., Damanhuri E. Stability of landfills—The Bandung dumpsite disaster. CISA (Hrsg.): Proceedings of the 10th International Landfill Symposium, Cagliari (Italy). 2005.

129. Bray J. D., Zekkos D., Kavazanjian E. J., Athanasopoulos G. A., Reimer M. Shear strength of municipal solid waste. *ASCE J Geotechnical Geoenvironmental Eng.* 2009. 135(6). 709–722.

130. Nadim F., Lacasse S. Landslide risk assessment and mitigation strategy. *Landslides-disaster risk reduction*. 2008. 31–61.

131. Calvello M. Early warning strategies to cope with landslide risk. *Rivista Italiana di Geotecnica*. 2017. 2/17(2). 63–91. Doi: 10.19199/2017.2.0557-1405.063

132. Yue Z. Constructing Effective Mechanism of Reflection on Major Accidents Zhang Supei. *China Safety Science Journal*. 2017. 6. 1–6.

133. Jane A. Bullock, George D. Haddow, Damon P. Coppola. Mitigation, Prevention, and Preparedness. *Introduction to Homeland Security*. 2013. 435–494. Doi: 10.1016/B978-0-12-415802-3.00010-5

134. Malehmir A., Socco L. V., Bastani M., Krawczyk C. M. et al. Chapter Two - Near-Surface Geophysical Characterization of Areas Prone to Natural Hazards: A Review of the Current and Perspective on the Future. *Advances in Geophysics*. 2016. Vol. 57. 51–146

135. Anderson M. G., Holcombe E. Community-based landslide risk reduction: managing disasters in small steps. 2013. World Bank, Washington, DC.

136. Australian researchers are developing software to anticipate landslides on rubbish mountains – potentially helping the millions who live and work on them. By Adrienne Bernhard 28th March 2019. URL: <https://www.bbc.com/worklife/article/20190327-the-new-tech-that-detects-deadly-slides-on-rubbish-mountains>

137. Duan Y., Zhao P., Zhou Y., Zhang X., Zhao Y. Simulation Experiment of Safety Experience based on System Dynamics. *International Symposium on Safety Science and Technology*. 2012. 199–203.

138. The effectiveness of hazard risk communication expert and community perspective on Orewa in Auckland, New Zealand. Disaster Prevention and Management Policy Brief Series № 3. *An International Journal*.

139. Jamilah Hj Ahmad, Habibah Hj Lateh Teaching Orang Asli Perspectives: An Investigation of Teachers' Perception on Landslide Hazard. *Journal of Education and Human Development*. 2014. Vol. 3(3). 157–166.

140. Anne M. Sanquini, Sundar M. Thapaliya, Michele M. Wood A communications intervention to motivate disaster risk reduction. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*. 2016. 3. 345–359.

141. Mauroner O., Heudorfer A. Social media in disaster management: How social media impact the work of volunteer groups and aid organisations in disaster preparation and response. *Int. J. of Emergency Management*. 2016. Vol. 12. no. 2. 196–217.

142. Sgourou E., Katsakiori P., Papaioannou I., Goutsos S., Adamides E. Using Soft Systems Methodology as a Systemic Approach to Safety Performance Evaluation. *International Symposium on Safety Science and Technology*. 2012. 185–193. URL: <http://www.sciencedirect.com/journal/procedia-engineering>.

143. Kelman I. Linking disaster risk reduction, climate change, and the sustainable development goals. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*. 2017. 3. 254–258. URL: <http://www.emeraldinsight.com/toc/dpm/26/3>

144. David O., Baloye, Lobina Gertrude Palamuleni Baloye Urban critical infrastructure interdependencies in emergency management: Findings from Abeokuta, Nigeria. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*. 2017. 2. 162–182. URL: <http://www.emeraldinsight.com/toc/dpm/26/2>

145. Kadri F., Birregah B. and Châtelet E. The Impact of Natural Disasters on Critical Infrastructures: A Domino Effect-based Study. *Journal of Homeland Security and Emergency Management*. 2014. Vol. 11. Is. 2. 217–241.
146. Coetzee C., Niekerk D. V., Raju E. Disaster resilience and complex adaptive systems theory: Finding common grounds for risk reduction. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*. 2016. 2. 196–211.
147. DSCWM. 2016. Guideline on Landslide Treatment and Mitigation. Department of soil Conservation and Watershed Management, Kathmandu, Nepal.
148. Popescu M. E., Sasahara K. Engineering Measures for Landslide Disaster Mitigation. In: Sassa K., Canuti P. (eds) *Landslides – Disaster Risk Reduction*. Springer, Berlin, Heidelberg. 2009.
149. Skrzypczak I., Kokoszka W., Kogut J., Oleniacz G. Methods of Measuring and Mapping of Landslide Areas. *World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium*. 2017. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 95. 2017. 022013.
150. Tofani V., Segoni S., Agostini A., Catani F., Casagli N. Technical note: use of remote sensing for landslide studies in Europe. *Nat Hazards Earth Syst Sci*. 2013. 13. 1–12. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-53498-5_18
151. Dou J., Li X., Yunus A. P., Paudel U., Chang K-T, Zhu Z., et al. Automatic detection of sinkhole collapses at finer resolutions using a multi-component remote sensing approach. *Nat Hazards. Springer Netherlands*. 2015. 26. 1–24.
152. Magliulo P., Di Lisio A., Russo F., Zelano A. Geomorphology and landslide susceptibility assessment using GIS and bivariate statistics: a case study in southern Italy. *Nat Hazards*. 2008. 47. 411–435.
153. Conoscenti C., Ciaccio M., Caraballo-Arias N. A., Gómez-Gutiérrez Á., Rotigliano E., Agnesi V. Assessment of susceptibility to earth-flow landslide using logistic regression and multivariate adaptive regression splines: A case of the Belice

River basin (western Sicily, Italy). *Geomorphology*. Elsevier B.V. 2015. 242. 49–64. Doi: 10.1016/j.geomorph.2014.09.020

154. Pourghasemi H., Pradhan B., Gokceoglu C., Moezzi K. D. A comparative assessment of prediction capabilities of Dempster-Shafer and Weights-of-evidence models in landslide susceptibility mapping using GIS. *Geomatics, Natural Hazards & Risk*. 2013. 93–118.

155. Komac M. Regional landslide susceptibility model using the Monte Carlo approach—the case of Slovenia. *Geol Q*. 2012. 56. 41–54.

156. Petterson M., Nanayakkara L., Konchok N., Norman R., Wangchuk S. and Linderoth M. Interconnected geoscience applied to disaster and risk: case study from SECMOL, Ladakh, N. India. *Disaster Prevention and Management*. 2019. Vol. 29. no. 3. 266–286.

157. Uniyal A. Prognosis and mitigation strategy for major landslide - prone areas: A case study of Varunavat Parvat landslide in Uttarkashi township of Uttarakhand (India). *Disaster Prevention and Management*. 2008. Vol. 17. no. 5. 622–644.

158. Surya P. Training Module on Comprehensive Landslides Risk Management. *National Institute of Disaster Management*. 2012. New Delhi – 110002. 282.

159. Joon-Young Hur Disaster management from the perspective of governance: case study of the Hebei Spirit oil spill. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*. 2012. 3. 288–298.

160. Subramaniam C., Ali H., Shamsudin F. M. Influence of physical ability on initial emergency response performance. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*. 2012. 5. 556–571.

161. Sinclair H., Doyle E. E., Johnston D. M., Paton D. Assessing emergency management training and exercises. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*. 2012. 4. 507–521.

162. Chang Y., Wilkinson S., Potangaroa R., Seville E. Resourcing for post-disaster reconstruction: a comparative study of Indonesia and China. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, 2012. 1. 7–21.

163. Reddick C. Information technology and emergency management: Preparedness and planning in US states. *Disasters*. 2011. 35(1). 45–61. Doi:10.1111/j.1467-7717.2010.01192.x.

164. Casagli N., Fanti R., Nocentini M. and Righini G. Assessing the capabilities of VHR satellite data for debris flow mapping in the Machu Picchu area, in: Landslides, risk analysis and sustainable disaster management, edited by: Sassa K., Fukuoka H., Wang F., and Wang G., Proceeding of the First General Assembly of the International Consortium on Landslides. 2005.

165. Baum R. L., Godt J. W. Early warning of rainfall-induced shallow landslides and debris flows in the USA. *Landslides*. 2010. 7. 259– 272.

166. Guzzetti F., Mondini A.C., Cardinali M., Fiorucci F., Santangelo M., Chang K.T. Landslide inventory maps: New tools for an old problem. *Earth-Science Reviews*. 2012. 112. 42–66.

167. Nascimento V. F., Sobral A. C., Andrade P. R., Yesiller N. and Ometto J.P.H.B. Natural Disaster Risk in Municipal Solid Waste Disposal Sites Using GIS: A Case Study in São Paulo State, Brazil. *Journal of Water Resource and Protection*. 2017. 9. 1213–1224. URL: <https://doi.org/10.4236/jwarp.2017.911079>

168. Petley D. N. Global deaths from landslides in 2010 (updated to include a comparison with previous years) *Landslide Blog*. 2011.

169. Gergő Albert –Krisztina Beáta Faur Effect of precipitation on the slope stability of landfills *Geosciences and Engineering*. 2014. Vol. 3. no. 5. 155–163.

170. Ouyang C., Zhou K., Xu Q. et al. Dynamic analysis and numerical modeling of the 2015 catastrophic landslide of the construction waste landfill at Guangming, Shenzhen, China. *Landslides*. 2017. 14. 705–718.

171. Kirschbaum D., Stanley T. Satellite-based assessment of rainfall-triggered landslide hazard for situational awareness. *Earths Future*. 2018. Vol. 6. Is. 3. 505–523.

172. Kirschbaum D., Stanley T., Zhou Y. Spatial and temporal analysis of a global landslide catalog. *Geomorphology*. 2015. 249. 4–15. URL: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.03.016>

173. Stumpf A., Kerle N. Combining Random Forests and object-oriented analysis for landslide mapping from very high resolution imagery. *Procedia Environ. Sci.* 2011. 3. 123–129. Doi: 10.1016/j.proenv.2011.02.022.

174. Soller D. R. Digital Mapping Techniques ‘11–12—Workshop Proceedings. USGS Open-File Report 2014–1167. 2014. Inventory Mapping and Characterization of Landslides Using LiDAR: Kenton and Campbell Counties, Kentucky. 1–8.

175. Handwerger A. L., Roering J. J., Schmidt D. A. Controls on the seasonal deformation of slow-moving landslides. *Earth Planet. Sci. Lett.* 2013. 377–378. 239–247. Doi: 10.1016/j.epsl.2013.06.047.

176. Wang C., Li Q., Zhu J., Gao W., Shan X., Song J., Ding X. Formation of the 2015 Shenzhen landslide as observed by SAR shape-from-shading. *Scientific Reports*. 2017. 7. 4335.

177. Highland L. M., Bobrowsky P. The landslide handbook – A guide to understanding landslides. Reston, Virginia, U.S. Geological Survey Circular. 2008. 1325. 129.

178. Parkash Surya. 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. 2019. 80.

179. Svalova V. Landslide Risk Management and Crises Events, Crisis Management - Theory and Practice, Katarina Holla, Michal Titko and Jozef Ristvej, IntechOpen, June 27th 2018. Doi: 10.5772/intechopen.76350.

180. 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.

181. Kumar Y. S., Kumar S., Sekharan S., Ranjan R. R. Determination of soil erosion index for surface soils of landfill covers. *Environmental Geotechnics*. 2019. 6. 6. 373–380.

182. Li X., Yan Q., Zhao S. et al. Investigation of influence of baffles on landslide debris mobility by 3D material point method. *Landslides*. 2020.

183. Koda E., Głazewski M. Technical and biological reinforcement of rebuilt landfill slopes. Conference: 13th Danube-European Conference on Geotechnical Engineering At: Ljubljana. Vol. 2.

184. Xia B., Xiong Z., Peng C., Zhang C. The slope instability emergency rescue analysis when the neighboring deep the foundation pit retaining structure construction. *Environment, Energy and Earth Sciences*. 2016.

185. Agarwal A., Datta M., Ramana G.V., Satyakam R. 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. 2019.

186. Mahanta A., Datta M., Ramana G.V. Stability Enhancement of Landfills on Sloping Ground Using Earthen Berms at the Toe. 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. 2019.

187. Gupta D., Datta M., Manna B.. Stabilization of old msw landfills using reinforced soil. Indian Geotechnical conference, Bengaiuru. 2018.

188. Ariefa R. B., Rusbintardjoa G., Izzi N. Landslide on a Deeply Landfilled Slope: A Case Study of Tembalang, Indonesia. *Jurnal Teknologi*. 2014. 70. 1. 1–5.

189. Sanoop G., Kulkarni Sanchay R., Mariya Dayana P. J., Patel J. B. 50th Indian Geotechnical Conference 17th – 19th December 2015, Pune, Maharashtra, India Venue: College of Engineering (Estd. 1854), Pune, India.

190. Tosun Y. I. Stabilization of Slope with Use of Coal Boiler Bottom Ash, Fly Ash and Geosynthetics for Bottom Seal Layer for Municipal Waste Landfill. International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering. ISRM 1st International Conference on Advances in Rock Mechanics – TunRock. 2018. Hammamet. Tunisia.

191. Viswanadham B. V. S., Rajesh S., Divya P.V., Gourc J. P. Influence of randomly distributed geofibers on the integrity of clay-based landfill covers: a centrifuge study. *Geosynthetics International*. 2011. 18. 5. 255–271.

192. Thomann T. G., Ansuman H. Raval. Geogrid Strengthening of an Existing Coal Ash Landfill Cap. Conference Information Geo-Frontiers Congress 2011 March 13-16, 2011. Dallas, Texas, United States

193. Jorge G. Zornberg Geosynthetic Reinforcement in Landfill Design: US Perspectives. Conference Information Geo-Frontiers Congress 2005 January 24-26, 2005. Austin, Texas, United States.

194. Singh A. K. Bioengineering techniques of slope stabilization and landslide mitigation, Disaster Prevention and Management. 2010. Vol. 19. no. 3. 384–397.

195. Faitli J., Magyar T., Erdélyi A., Murányi A. Characterization of thermal properties of municipal solid waste landfills. *Waste Management*. 2015. Vol. 36. 213–221. URL: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.10.028>

196. Bradfield F. L. Examination of the thermal properties of municipal solid waste and the scalability of its pyrolysis. Stellenbosch: Stellenbosch University. 2014.

197. Frid V., Doudkinski D., Liskevich G. et al. Geophysical-geochemical investigation of fire-prone landfills. *Environ Earth Sci*. 2010. 60. 787–798.

198. Musilli A. Landfill elevated internal temperature detection and landfill fire index assessment for fire monitoring. Theses and Dissertations. 2016. 2340.

199. Waste Advantage Magazine. Subterranean Landfill Fires: The Cause and Solutions. 2019. URL: <https://wasteadvantagemag.com/subterranean-landfill-fires-the-cause-and-solutions/>

200. Solid Waste Association of North America (SWANA). Landfill Gas Operation and Maintenance Manual of Practice. 1997. URL: <http://www.nrel.gov/docs/legosti/fy97/23070.pdf> (дата звернення 01.01.2020).

201. Salvi O., Chaubet C., Evanno S. Biogas: opportunities to improve safety and safety regulation. *Safety Engineering Series*. 2012. Vol. VII. no. 2. 36–43.

202. Hernandez Bennetts V., Lilienthal A. J., Neumann P. P., Trincavelli M. Mobile Robots for Localizing Gas Emission Sources on Landfill Sites: Is Bio-Inspiration the Way to Go? *Front Neuroeng*. 2011. 4. 20.

203. Bateman J., Zekkos D., Olson E., Messenger S. M., Kershaw C., Fei X. and Lynch J. Preliminary observations from robot-enabled surface methane concentration monitoring at a MSW landfill. *Geo-Chicago*. 2016. 740–9.

204. 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.

205. 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.

206. 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.

207. Наказ МВС України від 06.08.2018 № 658 «Про затвердження Класифікаційних ознак надзвичайних ситуацій». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0969-18>.

208. Національний класифікатор України. Класифікатор надзвичайних ситуацій ДК 019:2010. Київ, Держспоживстандарт України. 2010. 23 с. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va457609-10>

209. 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>.

210. Рашкевич Н. В. Техногенная опасность на полигонах твердых бытовых отходов с технологическим оборудованием. Постановка задач исследования. Збірник матеріалів III Міжнародної заочної науково-практичної конференції «Безопасность человека и общества: совершенствование системы реагирования и управления защитой от чрезвычайных ситуаций», 29 листопада 2019 р., Республіка Білорусь, м. Мінськ: Університет цивільного захисту МНС Республіки Білорусь. С. 71–73.

211. Рашкевич Н. В. Надзвичайні ситуації на полігоні твердих побутових відходів з технологічним устаткуванням. Збірник матеріалів XV Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених, курсантів та студентів «Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності», 26–27 березня 2020 р., м. Львів. С. 471–473.

212. Рашкевич Н. В. Обґрунтування підвищення техногенно-екологічної безпеки полігонів твердих побутових відходів. Збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених «Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту», 28–29 березня 2018 р., м. Харків: НУЦЗ України. С. 360.

213. Рашкевич Н. В. Розробка математичної основи попередження надзвичайної ситуації на полігоні твердих побутових відходів з технологічним устаткуванням. Збірник матеріалів Десятої міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління», 9–10 квітня 2020 р., м. Баку – Харків – Жиліна. С. 68.

214. Рашкевич Н. В. Стійкість схилу масиву відходів на полігоні твердих побутових відходів в задачах забезпечення цивільної безпеки. Збірник матеріалів XIII Науково-технічної конференції «Сучасний стан та проблемні питання страхового фонду документації, перспективи розвитку та взаємодії», 29–30 жовтня 2020 р., м. Харків. С. 66–67.

215. ДБН В.1.1-46:2017 «Інженерний захист територій, будівель і споруд від зсувів та обвалів. Основні положення». Київ: МінрегіонУкр., 2017. 41 с.

216. Наказ від 02.08.2018 № 198 «Про затвердження ДБН В.1.2-14:2018 Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд». УкрНДІпроектстальконструкція. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=78683

217. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою». URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759

218. Середа Т. Г., Костарев С. Н. Формализация критериев подобия параметров процессов биодеструкции отходов. *Успехи современной науки*. 2017. Том 7. №1. С. 140–143.

219. 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. Т. 1. № 154 (2020). С. 100–107. Doi: 10.33042/2522-1809-2020-1-154-100-107.

220. Рашкевич Н. В. Граничные условия предупреждения чрезвычайной ситуации на полигоне твердых бытовых отходов с технологическим оборудованием. Збірник матеріалів XIV Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених «Обеспечение безопасности: проблемы и перспективы», 8–9 квітня 2020 р., Республіка Білорусь, м. Мінськ: Університет цивільного захисту МНС Республіки Білорусь. С. 126–127.

221. Мирный А. Н., Скворцов Л. С., Пупырев Е. И., Корецкий В. Е. Коммунальная экология. *Энциклопедический справочник*. М.: Прима-Пресс_М. 2007. 806 с.

222. СП 116.13330.2012. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения. М.: Минрегион России, 2012. 16. СП 22.13330.2016 (актуализированная ред. СНиП 2.02.01-83*). Основания зданий и сооружений. М.: Минрегион России. 2016.

223. Абрамов Н. Ф., Корнеев В. Г. и др. Методические указания по расчету количественных характеристик выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от полигонов твердых бытовых отходов. М.: АКХ им. К.Д. Памфилова. 1995. 25 с.

224. Абрамов Н. Ф., Вайсман Я. И. и др. Рекомендации по расчету образования биогаза и выбору систем дегазации на полигонах захоронения твердых бытовых отходов. М.: ФГУП Федерального центра благоустройства и обращения с отходами. 2003. 27 с.

225. Вайсман Я. И., Тагилов М. А. и др. Методика расчета водного баланса полигонов захоронения твердых бытовых отходов. Перм. 2002. 19 с.

226. 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. Т. 3. № 156 (2020). С. 188–194.

227. Проект Тасис - Совершенствование системы управления твердыми бытовыми отходами в Донецкой области Украины. Пособие по мониторингу полигонов ТБО. Thales E&C – GKW – Consult. 2004. 271 с.

228. Рашкевич Н. В. Попередження надзвичайних ситуацій на полігоні твердих побутових відходів з технологічним ліквідаційним енергоємним устаткуванням. Збірник матеріалів II Всеукраїнської наукової конференції присвяченої 100 річчю університету «Актуальні питання

техногенної та цивільної безпеки України», 18–19 вересня 2020 р., м. Миколаїв. С. 25–29.

229. Рашкевич Н. В. Роботи з попередження надзвичайних ситуацій на полігоні твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням. Збірник матеріалів XII Міжнародної науково-методичної конференції «Безпека людини у сучасних умовах», 03–04 грудня 2020 р., м. Харків. С. 25–29.

230. Статут дій у надзвичайних ситуаціях органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту. Затверджений наказом МВС України від 26.04.2018 № 340. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0801-18>

231. Рашкевич Н. В. Виділення природоохоронних заходів направлених на попередження надзвичайних ситуацій пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів. Збірник матеріалів XVII Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми екологічної безпеки», 06–08 жовтня 2020 р., м. Кременчук. С. 86–88.

232. Дівізінюк М., Мірненко В., Рашкевич Н., Шевченко О. 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. *Social Development and Security*. 2020. Vol. 10. № 5. С. 15–27. DOI: 10.33445/sds.2020.10.5.2.

233. Рашкевич Н. В. Разработка лабораторной установки по проверке достоверности математического аппарата методики предупреждения чрезвычайных ситуаций на полигоне твердых бытовых отходов с технологической установкой. Збірник матеріалів VI Міжнародної заочної науково-практичної конференції «Технологии ликвидации чрезвычайных ситуаций», 20 травня 2020 р., Республіка Білорусь, м. Мінськ: Університет цивільного захисту МНС Республіки Білорусь. С. 181–182.

234. ДСТУ Б В.2.1-17:2009. Основи та підвалини будинків і споруд. ҐРУНТИ. Методи лабораторного визначення фізичних властивостей. Київ Мінрегіонбуд України 2010.

235. 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.

236. Рашкевич Н., Гончаренко Ю., Вовчук Т. Розділ. 3.9. Попередження надзвичайних ситуацій на потенційно-небезпечних об'єктах з надлишковим енергоємним технологічним устаткуванням в контексті вирішення проблеми підвищення безпеки та якості життя в сучасному світі // Improving living standards: current opportunities and limitations. Monograph. Editors: Wojciech Duczmal, Iryna Ostopolets. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole, 2020. P. 369–379. ISBN 978-83-66567-21-4.

237. Марченко В. И., Белый Ю. В., Сидельников Д. А. Основы научных исследований. Ставропольский государственный аграрный университет. Ставрополь, 2017. 112 с.

238. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. М.: Физматлит, 2006. 816 с.

239. Одна з умов ефективної реалізації процесу попередження надзвичайних ситуацій на полігонах твердих побутових відходів. Збірник матеріалів I Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції студентів та молодих науковців «Актуальні питання охорони праці у контексті сталого розвитку та європейської інтеграції України», 09–11 листопада 2020 р., м. Харків. С. 190–192.

240. Рашкевич Н. В. Виявлення ознак небезпеки під час експлуатації полігонів твердих побутових відходів. Збірник матеріалів Міжнародної наукової інтернет-конференції «Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення» (Випуск 24), 15 листопада 2017 р., м. Тернопіль. С. 84–87.

241. Рашкевич Н. В., Колосков В. Ю. Техногенна небезпека полігонів твердих побутових відходів з технологічним устаткуванням. Збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених «Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту», 15–16 квітня 2020 р., м. Харків: НУЦЗ України. С. 8

242. Колосков В. Ю., Рашкевич Н. В. Ідентифікація небезпеки місць видалення твердих побутових відходів. Збірник матеріалів 21 Всеукраїнської науково-практичної конференції «Розвиток цивільного захисту в сучасних безпекових умовах», 8 жовтня 2019 р., м. Київ: УкрНДІЦЗ. С. 130–132.

243. Vambol V., Rashkevich N. Analysis of methods of identification of ecologically danger substances in atmospheric air. *Техногенно-екологічна безпека: наук.-техн. журнал*. 2017. Вип. 2. Doi: 10.5281/zenodo.1182894.

244. Вамболь В. В., Рашкевич А. С., Рашкевич Н. В. Анализ особенностей экологического мониторинга атмосферного воздуха в зоне чрезвычайных ситуаций техногенного характера. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. 2016. № 49 (1221). С. 85–89.

245. Рашкевич А. С., Рашкевич Н. В., Вамболь В. В. Исследование особенностей лазерного метода для контроля атмосферного воздуха в зоне чрезвычайных ситуаций. Збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції «Проблемы гражданской защиты: управление, предупреждение, аварийно спасательные и специальные работы», 17 березня 2017 р., Республіка Казахстан, м. Кокшетау: РДУ «КТІ КНС МВС Республіки Казахстан». С. 245–248.

246. Рашкевич Н. В., Цитлішвілі К. О. Дослідження небезпеки продуктів розкладання в місцях депонування твердих побутових відходів. *Вісник КрНУ ім. Михайла Остроградського*. 2018. Вип. №3/2018(110). С. 97–102. Doi: 10.30929/1995-0519.2018.3.97-102.

247. Vambol S., Vambol V., Bogdanov I., Suchikova Y., Rashkevich N. Research of the influence of decomposition of wastes of polymers with nano

inclusions on the atmosphere. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. 6/10 (90). 57–64. Doi: 10.15587/1729-4061.2017.118213.

248. Рашкевич Н. В. Аналіз наукових досліджень в сфері лазерного зондування повітряного басейну. *Вісник КрНУ ім. Михайла Остроградського*. 2017. Вип. 5/2017 (106). С. 115–121.

249. Третьяков О. В., Рашкевич А. С. Оценка возможности использования лазерного монитора атмосферы в зоне чрезвычайной ситуации. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. 2011. Вип. 13. С. 155–166.

250. Пат. 128973 U, Україна, МПК (2018.01) A62C 3/02, G01V 3/16 (2006/01), G01V 8/00. Спосіб виявлення пожеж на полігонах твердих побутових відходів / Вамболь С. О., Вамболь В. В., Резніченко Г. М., Кондратенко О. М., Колосков В. Ю., Рашкевич Н. В.; власник: НУЦЗ України. - № 201805655; завл. 21.05.2018; опубл. 10.10.2018, Бюл. № 19.

251. Рашкевич Н. В., Черепньов І. А., Ковальов І. О. Спосіб виявлення пожеж на території полігону твердих побутових відходів. *Інженерія природокористування*. 2019. № 3 (13). С. 102–109.

252. Pat. № 6364026, US, 1C A62C 2/00, US Classification 169/47 Robotic fire protection system / Inventor Irving Doschay. Attorney, Agent of Firm Norton R. Townsley. - № 09/271,626; Filed March 17, 1999; Published April 2, 2002.

253. Rashkevich N., Goncharenko I., Anishenko L. et al. Biogas from the municipal solid waste polygon. *Scientific Journal «ScienceRise»*. 2018. №9 (50). 39–42.

Додаток А

Список публікацій здобувача за темою дисертації

Наукові праці, у яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Монографія:

1. **Рашкевич Н.**, Гончаренко Ю., Вовчук Т. Розділ. 3.9. Попередження надзвичайних ситуацій на потенційно-небезпечних об'єктах з надлишковим енергоємним технологічним устаткуванням в контексті вирішення проблеми підвищення безпеки та якості життя в сучасному світі // Improving living standards: current opportunities and limitations. Monograph. Editors: Wojciech Duczmal, Iryna Ostopolets. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole, 2020. P. 369–379. ISBN 978-83-66567-21-4.

Особисто здобувачем проведено польових та лабораторних досліджень з визначення фізико-механічних властивостей звалищних ґрунтів та їх впливу на стійкість схилів, та оброблено їх результати.

Статті у наукових фахових виданнях України, що входять до міжнародних наукометричних баз:

2. Vambol S., Vambol V., Bogdanov I., Suchikova Y., **Rashkevich N.** Research of the influence of decomposition of wastes of polymers with nano-inclusions on the atmosphere. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. 6/10 (90). P. 57–64. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.118213. (Видання включено до категорії «А» Переліку фахових видань України та міжнародної наукометричної бази Scopus)

Особисто здобувачем проведено обробку результатів експериментів по визначенню концентрації токсичних речовин, які виділяються при термічному розкладанні синтетичних полімерних матеріалів та обґрунтовано можливість проведення високоточної ідентифікації газоподібних речовин в атмосфері з метою виявлення прихованої небезпеки в тілі полігону твердих побутових відходів.

3. **Rashkevich N.**, Goncharenko I., Anishenko L., Pisnya L., Petrukhin S., Serikova E. Biogas from the municipal solid waste polygon. *Scientific Journal*

«*ScienceRise*». № 9 (50) 2018. Р. 39–42. DOI: 10.15587/2313-8416.2018.143412.

(Видання включено до міжнародних наукометричних баз Index Copernicus та Ulrich's Periodicals)

Особисто здобувачем проведено аналіз існуючих математичних моделей переміщення небезпечних речовин над полігоном твердих побутових відходів, сформульовані висновки щодо залежності швидкості та радіуса переміщення нагрітого утворення різної плавучості та запропоновано практичну цінність моделі у сфері цивільної безпеки з метою ефективного впровадження розробленої методики попередження надзвичайних ситуацій – зменшення негативних наслідків впливу за межами об'єкту їх виникнення на довкілля та населення.

4. Рашкевич Н. В. Аналіз техногенної небезпеки технологій поводження з твердими побутовими відходами. *Науково-технічний збірник «Комунальне господарство міст»*. Серія: технічні науки та архітектура. 2019. Т. 6. № 152 (2019). С. 58–66. DOI: 10.33042/2522-1809-2019-6-152-58-66. (Видання включено до міжнародних наукометричних баз Index Copernicus)

5. 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. Т. 1. № 154 (2020). С. 100–107. DOI: 10.33042/2522-1809-2020-1-154-100-107. (Видання включено до міжнародних наукометричних баз Index Copernicus)

6. 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. Т. 3. № 156 (2020). С. 188–194. DOI: 10.33042/2522-1809-2020-3-156-188-194. (Видання включено до міжнародних наукометричних баз Index Copernicus)

7. Дівізінюк М., Мірненко В., Рашкевич Н., Шевченко О. 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. *Social Development and Security*. 2020. Vol. 10. № 5. С. 15–27. DOI: 10.33445/sds.2020.10.5.2. (Видання включено до міжнародних наукометричних баз Index Copernicus та Ulrich's Periodicals)

Особисто здобувачем розроблено лабораторну установку, яка дозволяє провести експериментальні дослідження впливу фізичних властивостей звалищних ґрунтів на стійкість схилів, та відповідну методика проведення досліджень.

Статті у наукових фахових виданнях України:

8. **Рашкевич Н. В.**, Черепньов І. А., Ковальов І. О. Спосіб виявлення пожеж на території полігону твердих побутових відходів. *Інженерія природокористування*. 2019. № 3 (13). С. 102–109. DOI: 10.37700/enm.2019.3(13).102-109.

Особисто здобувачем запропоновано спосіб виявлення пожеж на території полігону твердих побутових відходів.

Патенти:

9. Патент на корисну модель № 128973 У, Україна, МПК (2018.01) А62С 3/02, G01V 3/16 (2006/01), G01V 8/00. Спосіб виявлення пожеж на полігонах твердих побутових відходів / Вамболь С. О., Вамболь В. В., Резніченко Г. М., Кондратенко О. М., Колосков В. Ю., **Рашкевич Н. В.**; власник: НУЦЗ України. - № 201805655; завл. 21.05.2018; опубл. 10.10.2018, Бюл. № 19.

Особисто здобувачем проведено аналіз патентної бази щодо наявних способів виявлення пожеж на полігонах твердих побутових відходів та запропоновано використовувати блок мікрохвильової радіометрії для визначення межі, глибини та температури зони горіння, виявлення пустот і прогарів.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

10. Рашкевич А. С., **Рашкевич Н. В.**, Вамболь В. В. Исследование особенностей лазерного метода для контроля атмосферного воздуха в зоне чрезвычайных ситуаций. Збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції «Проблемы гражданской защиты: управление, предупреждение, аварийно спасательные и специальные работы», 17 березня 2017 р., Республіка Казахстан, м. Кокшетау: РДУ «КТІ КНС МВС Республіки Казахстан». С. 245–248 (форма участі – заочна).

Особисто здобувачем проведено аналіз можливості організації дистанційного моніторингу атмосферного повітря в районах виникнення надзвичайних ситуацій за допомогою лазерного комплексу.

11. **Рашкевич Н. В.** Виявлення ознак небезпеки під час експлуатації полігонів твердих побутових відходів. Збірник матеріалів Міжнародної наукової інтернет-конференції «Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення» (Випуск 24), 15 листопада 2017 р., м. Тернопіль. С. 84–87.

12. **Рашкевич Н. В.** Обґрунтування підвищення техногенно-екологічної безпеки полігонів твердих побутових відходів. Збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених «Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту», 28–29 березня 2018 р., м. Харків: НУЦЗ України. С. 360 (форма участі – очна).

13. Колосков В. Ю., **Рашкевич Н. В.** Ідентифікація небезпеки місць видалення твердих побутових відходів. Збірник матеріалів 21 Всеукраїнської науково-практичної конференції «Розвиток цивільного захисту в сучасних безпекових умовах», 8 жовтня 2019 р., м. Київ: УкрНДЦЗ. С. 130–132 (форма участі – заочна).

Особисто здобувачем розглянуто та проаналізовано можливі надзвичайні ситуації на полігоні твердих побутових відходів.

14. **Рашкевич Н. В.** Актуальність питання попередження надзвичайної ситуації на комунікації або технологічному устаткованні полігону твердих

побутових відходів. Збірник матеріалів Сьомої міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми інформатизації», 13–15 листопада 2019 р., м. Черкаси – Баку – Бельсько-Бяла – Харків. С. 77 (форма участі – заочна).

15. **Рашкевич Н. В.** Техногенная опасность на полигонах твердых бытовых отходов с технологическим оборудованием. Постановка задач исследования. Збірник матеріалів III Міжнародної заочної науково-практичної конференції «Безопасность человека и общества: совершенствование системы реагирования и управления защитой от чрезвычайных ситуаций», 29 листопада 2019 р., Республіка Білорусь, м. Мінськ: Університет цивільного захисту МНС Республіки Білорусь. С. 71–73 (форма участі – заочна).

16. **Рашкевич Н. В.** Надзвичайні ситуації на полігоні твердих побутових відходів з технологічним устаткуванням. Збірник матеріалів XV Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених, курсантів та студентів «Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності», 26–27 березня 2020 р., м. Львів. С. 471–473 (форма участі – заочна).

17. **Рашкевич Н. В.** Граничные условия предупреждения чрезвычайной ситуации на полигоне твердых бытовых отходов с технологическим оборудованием. Збірник матеріалів XIV Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених «Обеспечение безопасности: проблемы и перспективы», 8–9 квітня 2020 р., Республіка Білорусь, м. Мінськ: Університет цивільного захисту МНС Республіки Білорусь. С. 126–127 (форма участі – заочна).

18. **Рашкевич Н. В.** Розробка математичної основи попередження надзвичайної ситуації на полігоні твердих побутових відходів з технологічним устаткуванням. Збірник матеріалів Десятої міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління», 9–10 квітня 2020 р., м. Баку – Харків – Жиліна. С. 68 (форма участі – заочна).

19. **Рашкевич Н. В.,** Колосков В. Ю. Техногенна небезпека полігонів твердих побутових відходів з технологічним устаткуванням. Збірник матеріалів

Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених «Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту», 15–16 квітня 2020 р., м. Харків: НУЦЗ України. С. 8 (форма участі – очна).

Особисто здобувачем розглянуто умови облаштування ділянки складування твердих побутових відходів, технологій збору біогазу та виділені фактори виникнення техногенної небезпеки.

20. **Рашкевич Н. В.** Разработка лабораторной установки по проверке достоверности математического аппарата методики предупреждения чрезвычайных ситуаций на полигоне твердых бытовых отходов с технологической установкой. Збірник матеріалів VI Міжнародної заочної науково-практичної конференції «Технологии ликвидации чрезвычайных ситуаций», 20 травня 2020 р., Республіка Білорусь, м. Мінськ: Університет цивільного захисту МНС Республіки Білорусь. С. 181–182 (форма участі – заочна).

21. **Рашкевич Н. В.** Попередження надзвичайних ситуацій на полігоні твердих побутових відходів з технологічним ліквідаційним енергоємним устаткуванням. Збірник матеріалів II Всеукраїнської наукової конференції присвяченої 100 річчю університету «Актуальні питання техногенної та цивільної безпеки України», 18–19 вересня 2020 р., м. Миколаїв. С. 25–29 (форма участі – заочна).

22. **Рашкевич Н. В.** Виділення природоохоронних заходів направлених на попередження надзвичайних ситуацій пов'язаних зі зсувом звалищних ґрунтів. Збірник матеріалів XVII Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми екологічної безпеки», 06–08 жовтня 2020 р., м. Кременчук. С. 86–88 (форма участі – заочна).

23. **Рашкевич Н. В.** Стійкість схилу масиву відходів на полігоні твердих побутових відходів в задачах забезпечення цивільної безпеки. Збірник матеріалів XIII Науково-технічної конференції «Сучасний стан та проблемні питання страхового фонду документації, перспективи розвитку та взаємодії», 29–30 жовтня 2020 р., м. Харків. С. 66–67 (форма участі – заочна).

24. **Рашкевич Н. В.** Одна з умов ефективної реалізації процесу попередження надзвичайних ситуацій на полігонах твердих побутових відходів. Збірник матеріалів I Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції студентів та молодих науковців «Актуальні питання охорони праці у контексті сталого розвитку та європейської інтеграції України», 09–11 листопада 2020 р., м. Харків. С. 190–192.

25. **Рашкевич Н. В.** Роботи з попередження надзвичайних ситуацій на полігоні твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням. Збірник матеріалів XII Міжнародної науково-методичної конференції «Безпека людини у сучасних умовах», 03–04 грудня 2020 р., м. Харків. С. 25–29 (форма участі – заочна).

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

26. Вамболь В. В. Рашкевич А. С., **Рашкевич Н. В.** Анализ особенностей экологического мониторинга атмосферного воздуха в зоне чрезвычайных ситуаций техногенного характера. *Вісник Національного технічного університету «ХПИ»*. 2016. № 49 (1221). С. 85–89.

Особисто здобувачем проведено аналіз можливості організації дистанційного моніторингу атмосферного повітря в районах виникнення надзвичайних ситуацій за допомогою лазерного комплексу.

27. Vambol V., **Rashkevich N.** Analysis of methods of identification of ecologically danger substances in atmospheric air. *Техногенно-екологічна безпека: наук.-техн. журнал*. 2017. Вип. 2. С. 74–78. DOI: 10.5281/zenodo.1182894.

Особисто здобувачем проведено аналіз методів ідентифікації небезпечних речовин в атмосферному повітрі та визначені переваги лазерного моніторингу.

28. **Рашкевич Н. В.** Аналіз наукових досліджень в сфері лазерного зондування повітряного басейну. *Вісник КрНУ ім. Михайла Остроградського*. Вип. 5/2017 (106). С. 115–121.

29. **Рашкевич Н. В.,** Цитлішвілі К. О. Дослідження небезпеки продуктів розкладання в місцях депонування твердих побутових відходів. *Вісник КрНУ ім. Михайла Остроградського*. Вип. №3/2018(110). С. 97–102. DOI: 10.30929/1995-0519.2018.3.97-102.

Особисто здобувачем проведено експериментальні дослідження з визначення хімічного складу проб атмосферного повітря в зоні впливу типового полігону твердих побутових відходів та основних показників хімічного складу фільтраційних вод з дренажної каналі.

Додаток Б

ЗАТВЕРДЖУЮ

Начальник Ізюмського РВ
ГУ ДСНС України у Харківській області

Микола ВІТЕР

«01» вересня 2020 року

АКТ

впровадження результатів дисертаційного дослідження на здобуття
вченого ступеня доктора філософії Рашкевич Ніни Владиславни

Комісія у складі: голови – заступника начальника Ізюмського РВ ГУ ДСНС України у Харківській області Володимира СИРОМЯТНІКОВА; членів комісії – провідного інспектора Ізюмського РВ ГУ ДСНС України у Харківській області Дмитра СОКОЛЬЦОВА та начальника 28-ДПРЧ м. Ізюм ГУ ДСНС України у Харківській області Олега САМОЙЛЕНКА склала цей акт про те, що нові практичні результати, одержані особисто Рашкевич Н.В. у межах дисертаційних досліджень у вигляді:

– методики попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу на полігонах твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням;

– пропозицій по застосуванню дистанційних методів та засобів спостереження за станом атмосферного повітря та звалищних ґрунтів.

Використання зазначених практичних результатів дисертаційної роботи є основою для вдосконалення системи підтримки прийняття рішення керівником робіт з попередження та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій техногенного характеру на полігонах твердих побутових відходів з ліквідаційним енергоємним технологічним устаткуванням.

Голова комісії:

Заступник начальника
Ізюмського РВ ГУ ДСНС України
у Харківській області

Володимир СИРОМЯТНІКОВ

Члени комісії:

Провідний інспектор
Ізюмського РВ ГУ ДСНС України
у Харківській області

Дмитро СОКОЛЬЦОВ

Начальник 28-ДПРЧ м. Ізюм
ГУ ДСНС України
у Харківській області

Олег САМОЙЛЕНКО

«01» вересня 2020 року

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор комунального підприємства
«Благоустрій міста Ізюма»

 Юрій БРИЛЬ

«09» вересня 2020 року

АКТ

впровадження результатів дисертаційного дослідження на здобуття
вченого ступеня доктора філософії Рашкевич Ніни Владиславни

Комісія у складі: голови – інженер з охорони праці Моргун О.Г.; членів комісії – інженера з безпеки руху відповідальний за дотримання вимог протипожежної безпеки ТБВ у місті Ізюм у Харківській області Чередник І.П., працівник полігону ТПВ у місті Ізюм у Харківській області Родіна С.М. схвалили представлену здобувачем вченого ступеня доктора філософії Рашкевич Н. В. методику попередження надзвичайних ситуацій каскадного типу на полігонах твердих побутових відходів з ліквідаційним енергосмним технологічним устаткуванням.

Використання зазначеної методики дозволить знизити ризик поширення та переростання наслідків надзвичайних ситуацій на полігоні ТПВ у місті Ізюм Харківській області з об'єктового на більш високі рівні з урахуванням впровадження ліквідаційного енергосмного технологічного устаткування.

Голова комісії:

інженер



О.Г.Моргун

Члени комісії:

інженера з безпеки руху відповідальний
за дотримання вимог протипожежної безпеки

І.П.Чередник

працівник полігону



С.М. Родіна

«09» вересня 2020 року