

**ПРОГНОЗУВАННЯ РІВНЯ БЕЗПЕКИ НЕСАНКЦІОНОВАНОГО СМІТТЄЗВАЛИЩА З ВИКОРИСТАННЯМ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ****С. О. Вамболь, В. В. Вамболь, В. Ю. Колосков, Ю. Ф. Деркач**

Національний університет цивільного захисту України

вул. Чернишевська, 94, м. Харків, 61023, Україна. E-mail: koloskov@nuczu.edu.ua

Показано актуальність дослідження й необхідність розробки методів, що дозволяють не лише оцінювати безпеку місць зберігання відходів в даний момент часу, але й прогнозувати рівень їхньої безпеки. Запропоновано вдосконалення методу прогнозування рівня безпеки несанкціонованого сміттєзвалища шляхом використання імітаційного моделювання. Дослідження показали, що цей метод дозволяє одержати стійку статистику розвитку подій, якщо реальна система, з якою проводяться експерименти, замінена моделлю, що з достатньою точністю описує цю систему. Під час розроблення моделі пропонується розглядати необхідні для визначення рівня екологічної безпеки показники якості навколишнього середовища й параметри звалища, які визначають фактори ризику виникнення НС на об'єкті. В цьому дослідженні показані й математично описані взаємозв'язки процесів, що відбуваються на об'єкті та у довкіллі. При цьому величини, які характеризують взаємозв'язки процесів, розглядаються як відгуки навколишнього середовища й об'єкта на вплив зовнішніх чинників. Результатом даного дослідження є удосконалення методу прогнозування рівня безпеки несанкціонованого звалища шляхом використання імітаційного моделювання.

**Ключові слова:** прогнозування, рівень безпеки, імітаційне моделювання, фактори ризику, звалище, відходи.

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УРОВНЯ БЕЗОПАСНОСТИ НЕСАНКЦИОНИРОВАННОЙ МУСОРНОЙ СВАЛКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ****С. А. Вамболь, В. В. Вамболь, В. Ю. Колосков, Ю. Ф. Деркач**

Национальный университет гражданской защиты Украины

ул. Чернышевская, 94, г. Харьков, 61023, Украина. E-mail: koloskov@nuczu.edu.ua

Показаны актуальность исследования и необходимость разработки методов, позволяющих не только оценить безопасность мест хранения отходов в настоящий момент времени, но и прогнозировать уровень их безопасности. Предложено усовершенствование метода прогнозирования уровня безопасности несанкционированной мусорной свалки путем использования имитационного моделирования. Исследования показали, что данный метод позволяет получить устойчивую статистику развития событий, если реальная система, с которой проводятся эксперименты, заменена моделью, с достаточной точностью описывающей эту систему. При разработке модели предлагается рассматривать необходимые для определения уровня экологической безопасности показатели качества окружающей среды и параметры свалки, которые определяют факторы риска возникновения ЧС на объекте. В данном исследовании показаны и математически описаны взаимосвязи процессов, происходящих на объекте и в окружающей среде. При этом величины, которые характеризуют взаимосвязи процессов, рассматриваются как отклики окружающей среды и объекта на воздействие внешних факторов. Результатом данного исследования является усовершенствование метода прогнозирования уровня безопасности несанкционированной свалки путем использования имитационного моделирования.

**Ключевые слова:** прогнозирование, уровень безопасности, имитационное моделирование, факторы риска, свалка, отходы.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** У процесі життєдіяльності людини утворюється велика кількість твердих побутових відходів (ТПВ). Для побудови ефективної системи їхньої утилізації необхідно вирішити завдання обліку утворення відходів та контролю за їхнім подальшим розміщенням. Оскільки, на жаль, на сьогодні не все населення України охоплене системою збирання та вивозу ТПВ, велику проблему становлять несанкціоновані звалища, а також санкціоновані полігони зберігання відходів, впорядкування яких не відповідає вимогам технічних регламентів [1].

Забезпечення необхідних умов безпечної експлуатації або ліквідація таких об'єктів суттєво ускладнюється тим, що місця їхнього розташування зазвичай обираються, виходячи з бажання використовувати незайняті, «нічийні» землі. Натомість ці ділянки

землі при більш детальному аналізі виявляються такими, що належать до природоохоронних [2] або санітарних зон [3], що, з одного боку, збільшує екологічну шкоду від експлуатації об'єкту, а з іншого – звужує можливості застосування до нього класичних санітарно-захисних заходів.

За типом відходи, складовані на сміттєзвалищах, поділяють на шість груп. До першої групи відносять будівельні відходи, металургійні шлаки, уламки, дорожнього покриття, тощо. Другу групу утворюють породи та подібні до них матеріали: ґрунт зі вмістом нафтопродуктів до 2 %, продукти згоряння, радіоактивний пісок, ґрунт невисокого ступеню забруднення, природні фільтруючі матеріали. До третьої групи відносять золу усіх типів, ґрунт зі вмістом нафтопродуктів до 2...5 %, продукти очищення газів, глинисті ґрунти, гіпсові відходи, пил в упако-

## Оцінка та прогнозування техногенного впливу на довкілля

ваному вигляді. Четверту групу представляють шлами, зокрема, шлами очищення, ґрунти зі вмістом нафтопродуктів більше 5 %, солі та їх хімічні сполуки, шлами фарб, гіпсу, гідроокисів, а також шлами бурильні, абразивні та осадкові. До п'ятої групи відносяться інші відходи, наприклад, усі види упаковок та такі, що однозначно не відносяться до перерахованих вище груп. Шосту групу представляють відходи особливого характеру – отруйні рідини, шлами й породи, отрути першого й другого класів.

Відповідно типу складованих відходів виділяють такі основні види звалищ:

- звалища будівельного сміття та породних мас;
- звалища побутових відходів;
- звалища шкідливих речовин;
- змішані звалища, на яких побутове сміття розташоване у поєднанні зі шкідливими речовинами.

Місця розташування ТПВ є джерелами розповсюдження забруднюючих речовин у атмосфері, ґрунті, поверхневих та підземних водах. При цьому негативний вплив подібних об'єктів на довкілля є тривалим у часі, що пов'язано з великими термінами розкладання речовин, які входять до мас відходів (наприклад, полімери та різні композиційні матеріали). Навіть малі сміттєзвалища ТПВ, є шкідливими, оскільки призводять до втрати ґрунтових ресурсів, необхідних для забезпечення функціонування природних процесів у екосистемах території, прилеглої до подібного об'єкту.

Побутові відходи являють собою суміш твердих речовин, у складі яких присутні харчові відходи, папір, скло, тканини й полімерні матеріали, метали, тощо, які використовують у побуті. Натомість у реальних умовах до ТПВ потрапляє ширший спектр відходів, включаючи великогабаритні уламки будівельного сміття, що визначає багатокомпонентний склад ТПВ [4].

Однак слід зазначити, що суттєвою умовою успішної реалізації запропонованих заходів й засобів підвищення рівня екологічної безпеки є забезпечення ізоляції складованих мас відходів від навколишнього природного середовища, що, зокрема, вимагає їх просторової стабільності – утримання відходів на виділеному обмеженому майданчику без несанкціонованого розповсюдження на прилегли ділянки території, не підготовлені для зберігання відходів, ані речовин, що зберігаються, ані продуктів їхнього розкладання, звичайного або катастрофічного (через пожежі, сильні зливи, повені, тощо). Натомість в Україні й світі частими є випадки зсувів на полігонах та звалищах різного призначення, у тому числі з катастрофічними наслідками: м. Гватемала, Республіка Гватемала, 2016 р. – 4 загиблих; м. Шенжен, Кітай, 2015 р. – 69 загиблих; м. Багіо, Філіппіни, 2011 р. – 5 загиблих; м. Кесон-Сіті, Філіппіни, 2000 р. – 218 загиблих. Слід також відзначити, що усім згаданим катастрофам передували порушення умов накопичення та зберігання відходів, а безпосередньо перед ними у більшості прикладів – серйозне погіршення метеорологічних умов у вигляді злив. Наслідком описаних подій стало суттєве збільшення

площі, які займають відходи, а отже й рівень шкоди для довкілля різко збільшився.

Особливо гостро зазначена проблема постає у випадку одночасної реалізації декількох різнопланових надзвичайних ситуацій (НС), адже при цьому різко зростають сумарні величини негативного впливу на середовище, як кількісно, так і якісно. Наприклад, однією з можливих передумов зсуву верхнього шару відходів є накопичення в ньому великих обсягів води, яка використовується для гасіння пожеж й попередження їхнього розповсюдження. Прикладом такого зсуву може слугувати трагедія, що відбулася 30 травня 2016 року на полігоні ТПВ у сел. Грибовичі, під час якої загинуло чотири людини, включаючи трьох рятувальників, що брали участь у ліквідації наслідків спалахування сміття на об'єкті. В такому випадку прямий контроль стану маси відходів з метою оцінювання факторів ризику виникнення зсуву або інших НС є суттєво ускладненим через велику площу зони пожежі, високу температуру палаючих речовин, підвищений вміст токсичних продуктів горіння у повітрі, тощо. Як можна побачити на наведеному прикладі, питання забезпечення екологічної безпеки та зниження ризику виникнення НС на об'єктах скупчення відходів не можна розглядати ізольовано одні від одних, натомість необхідним є визначення й врахування взаємозв'язків для процесів, що призводять до відповідних подій.

Характерними властивостями несанкціонованого або невпорядкованого сміттєзвалища є динамічність площі, яку воно займає, а також змінність складу розміщених на ньому відходів, що в свою чергу збільшує невизначеність у оцінках рівня екологічної безпеки. Реалізація динамічного керування станом навколишнього природного середовища потребує якісно нових підходів до оцінювання результатів негативних впливів на нього. Врахування сукупної дії різних факторів, накопичення ефекту впливу, взаємозв'язків між показниками рівня екологічної безпеки сміттєзвалища та факторами ризику виникнення НС, тощо, вимагає переходу від методів прямого оцінювання результатів впливів до методів прогнозування цих результатів у майбутньому, що дозволить не лише виконати завдання забезпечення необхідного рівня безпеки, а й підвищити ефективність захисних заходів, які впроваджуються для його вирішення. З урахуванням обмеженості ресурсів з ліквідації наслідків шкідливого впливу на довкілля актуальною проблемою є визначення рівня безпеки сміттєзвалищ, особливо несанкціонованих, як об'єктів техногенної діяльності людства. *Метою цієї роботи* є розробка методу прогнозування рівня безпеки несанкціонованих сміттєзвалищ з використанням імітаційного моделювання.

## МАТЕРІАЛ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Під час розроблення методу прогнозування рівня безпеки несанкціонованих сміттєзвалищ в основі покладено імітаційне моделювання. Цей метод дослідження дозволяє одержати стійку статистику розвитку подій, якщо реальна система, з якої проводяться експерименти, замінена моделлю, що з достатньою точністю описує цю реальну систему. Ав-

**Оцінка та прогнозування техногенного впливу на довкілля**

торами робіт [5, 6] запропоновано використання імітаційного моделювання в умовах виконання небезпечних видів робіт з обмеженими або відсутніми можливостями контролю стану навколишнього середовища.

Експерименти на реальних звалищах для оцінювання найбільш небезпечних режимів функціонування об'єкта неприпустимі, оскільки існує небезпека виникнення реальних НС з негативними наслідками для екосистем прилеглих територій. В цьому випадку імітаційне моделювання дозволяє перейти до аналізу й відпрацювання будь-яких положень системи з підключенням максимальної кількості альтернатив її поведінки, і як результат, до прогнозування рівня безпеки об'єкта в цілому.

Під час розроблення моделі до розгляду додаються необхідні для визначення рівня екологічної безпеки показники якості навколишнього середовища  $\varepsilon_l^{EB} \in E^{EB}$ ,  $l = 1..P$ ,  $P$  – кількість показників, що розглядаються, а також параметри самого сміттєзвалища, що визначають фактори ризику виникнення НС на об'єкті  $\varepsilon_m^{HC} \in E^{HC}$ ,  $m = 1..R$ ,  $R$  – кількість параметрів, включених до розгляду. З урахуванням взаємозв'язку процесів, що відбуваються на об'єкті та у довкіллі, ці величини слід розглядати як відгуки навколишнього природного середовища та об'єкту на вплив зовнішніх факторів.

Прогнозування змін у становищі довкілля є складним процесом, який вимагає формалізації зв'язків між всіма елементами системи. З одного боку утворення зв'язку між елементами системи залежить від факторів негативного впливу техногенного характеру на навколишнє природне середовище. З іншого боку, для визначення зв'язків в системі слід враховувати комплекс відгуків екосистеми на цей вплив, які оцінюються відповідними показниками якості навколишнього природного середовища.

Тобто необхідно брати до уваги якнайбільше індивідуальних особливостей екосистеми території прилеглої до досліджуваного об'єкту відносно реакції на відокремлений комплекс діючих факторів, а також можливість виникнення на об'єкті НС – пожежі, зсуву, тощо.

В реальних умовах навколишнє природне середовище знаходиться під постійним впливом негативних факторів, а його стан потребує постійного контролю. Натомість реалізація способу накопичення великих обсягів даних за відгуками довкілля потребує проведення постійного моніторингу показників його якості, що пов'язано з великою вартістю впровадження відповідних заходів. У той же час під час дослідження таких об'єктів, як несанкціоновані сміттєзвалища, слід брати до уваги той факт, що екосистема прилеглої території знаходиться під впливом обмеженого комплексу негативних факторів, що в свою чергу дає можливість суттєво звузити сукупність показників становища довкілля, які піддаються моніторингу. Вочевидь, для потреб прогнозування рівня екологічної безпеки техногенного об'єкту необхідно обрати шлях зменшення кількості значущих параметрів, визначення з них найбільш

інформативних, з використанням інтегральних критеріїв, які дозволять проводити узагальнене оцінювання безпеки впливу тих або інших факторів.

Оскільки реальні умови функціонування природних процесів у навколишньому природному середовищі характеризуються впливом складного комплексу негативних факторів, оцінювання результату їхньої дії має базуватися на сформованих динамічних моделях виникнення відгуків навколишнього середовища під дією тих або інших факторів. З урахуванням усього сказаного вище метод прогнозування рівня безпеки несанкціонованого сміттєзвалища полягає у покроковій перевірці дотримання умов безпечного функціонування об'єкту на основі критеріїв безпеки у  $n$ -вимірному просторі факторів  $F_i \in \Phi$ ,  $i = 1..n$ , де  $n$  – кількість факторів у сукупності, які змінюються за програмою, що задається умовами утворення сміттєзвалища й подальшого накопичення на ньому відходів, з наданням узагальненого висновку про рівень безпеки, який буде забезпечено. Спрощену схему методу подано на рис. 1.

Комплекс вихідних даних для прогнозування формується за трьома напрямками.

1. Формування набору значень діючих факторів негативного впливу на довкілля, які задаються програмою накопичення на сміттєзвалищі відходів з урахуванням керуючих імпульсів на корегування значень факторів у випадку виходу режиму функціонування об'єкту за припустимі межі. Для забезпечення уніфікації оцінювання припустимості стану об'єкту необхідно отримати множину зведених факторів впливу  $\bar{F}_i \in \Phi^{36}$  відображенням множини факторів  $F_i \in \Phi$

$$\Phi_F^{36} : \Phi \rightarrow \Phi^{36} \quad (1)$$

у вигляді

$$\bar{F}_i = \Phi_F^{36}(F_i) = \frac{F_i}{[F_i]}, \quad i = 1..n, \quad (2)$$

де  $[F_i]$  – граничні припустимі значення діючих факторів. Такий підхід надає можливість перейти до розгляду  $n$ -вимірного простору зведених значень факторів, у якому граничні припустимі значення визначаються нормативним критерієм у вигляді

$$\bar{F}_i = 1, \quad i = 1..n, \quad (3)$$

завдяки чому усі фактори в незалежності від свого походження й використовуваних одиниць вимірювання зрівнюються за значенням.

2. Формування набору критеріїв для оцінювання стану екосистеми прилеглої території й безпеки досліджуваного об'єкту. Підбір та побудова критеріїв для оцінювання рівня екологічної безпеки слід проводити на основі результату попереднього визначення набору діючих факторів.

У поданій роботі для побудови критеріїв безпеки використаний нормативний підхід у наступному формалізованому вигляді

$$\chi = \frac{F}{[F]} = \bar{F} \leq 1. \quad (4)$$

Оцінка та прогнозування техногенного впливу на довкілля



Рисунок 1 – Спрощена схема методу прогнозування рівня безпеки несанкціонованого сміттєзвалища

Нормативний критерій встановлює критеріальні залежності, які визначають безпеку, як стан, у якому діючі фактори знаходяться у припустимих межах, причому як безпосередньо за своїми величинами, так і за результатом їхнього впливу на довкілля та стан об'єкту. За такого підходу отримуємо можливість формалізації нормативного критерію за значеннями зведених відгуків на дію факторів у наступному вигляді

$$\chi = \frac{\varepsilon}{[\varepsilon]} = \bar{\varepsilon} \leq 1. \quad (5)$$

де  $[\varepsilon]$  – граничні припустимі значення показників якості навколишнього природного середовища та параметрів об'єкту, що розглядаються як відгуки. Сформований таким чином набір критеріїв

$$K = K^{EB} \cup K^{HC} = \{K_l^{EB}\} \cup \{K_m^{HC}\} \quad (6)$$

формалізує вимоги нормативних документів, що регламентують умови експлуатації сміттєзвалищ, стосовно забезпечення потрібного рівня екологічної безпеки

$$K_l^{EB} : \chi_l^{EB}(\Phi, E^{EB}), \quad l = 1..P, \quad (7)$$

та припустимого рівня ризику виникнення НС

$$K_m^{HC} : \chi_m^{HC}(\Phi, E^{HC}), \quad m = 1..R, \quad (8)$$

де  $P$  та  $R$  – кількість критеріїв, що використовується для оцінювання рівня відповідно екологічної безпеки конкретного об'єкту та ризику виникнення на ньому НС.

3. Формування набору параметрів та вихідних даних, які визначають початковий стан сміттєзвалища й екосистеми прилеглої території, включаючи її взаємозв'язок з характеристиками об'єкту. Отримана сукупність показників має містити:

- граничні припустимі значення факторів  $[F_i]$ ;
- граничні припустимі значення показників якості навколишнього природного середовища, що визначені як його відгуки  $[\varepsilon_l^{EB}]$  на вплив діючих факторів;
- граничні припустимі значення параметрів об'єкту, що розглядаються у якості його відгуків  $[\varepsilon_m^{HC}]$  на вплив діючих факторів.

Комплекс окремих критеріїв, що визначають оцінку рівня безпеки несанкціонованого сміттєзвалища, реалізується, з одного боку для кожного діючого фактору, а з іншого – для значущих відгуків довкілля та об'єкту з урахуванням характерних особливостей їхнього функціонування. Перевагою такого підходу є його гнучкість, яка надає можливість підключення до розгляду будь-якої кількості діючих факторів, відгуків на них, а також критеріїв оцінювання рівня безпеки залежно від стану сміттєзвалища та прилеглої до нього території.

$$\chi^{kp} = \max K. \quad (9)$$

Після проведення послідовного оцінювання рівня безпеки досліджуваного об'єкту для кожного набору значень факторів  $F_i \in \Phi$ , які змінюються за програмою, що задається умовами утворення сміттєзвалища й подальшого накопичення на ньому відходів, формується узагальнений висновок про прогнозований рівень безпеки системи упродовж заданого періоду часу. Кількісно оцінка визначається мінімальним значенням показника  $\chi^{kp}$  з усіх, які були одержані на кожному з кроків обчислень.

Кінцевою метою роботи системи забезпечення безпеки несанкціонованих сміттєзвалищ є усунення негативного впливу на навколишнє природне середовище шляхом ліквідації відповідних об'єктів. Втім, для підвищення ефективності використовуваних природоохоронних заходів, виходячи з великої кількості несанкціонованих сміттєзвалищ невеликої площі, повсякчасного утворення нових подібних об'єктів, обмеженості ресурсів, які можна використовувати одночасно, а також з урахуванням наявності зв'язку між джерелами екологічної небезпеки та

## Оцінка та прогнозування техногенного впливу на довкілля

факторами ризику виникнення НС, доцільним є організація робіт з забезпечення безпеки несанкціонованих сміттєзвалищ у комплексі для території цілого регіону. Під час використання такого підходу завдання забезпечення безпеки має вирішуватися у два етапи:

1) пошук «стихійних» сміттєзвалищ й попереднє прогнозування рівня їхньої безпеки;

2) дослідження виявлених сміттєзвалищ на місці їхнього розташування, детальне прогнозування рівня їхньої безпеки з наступним визначенням за результатами прогнозування переліку й порядку впровадження заходів з усунення негативного впливу звалища на довкілля, а також їх реалізація.

Розглянемо у якості прикладу використання запропонованого методу для прогнозування рівня безпеки на першому з названих етапів.

Для практичної реалізації оперативного виявлення несанкціонованих звалищ доцільним є застосування методу, що базується на аналізі матеріалів дистанційного зондування Землі з виділенням зон органічних складових накопичених відходів, як подано у роботі [7].

Дослідження космічних знімків та цифрових карт дозволяє виявити й проаналізувати розміщення несанкціонованих місць скупчення відходів відносно населених пунктів з урахуванням особливостей природно-техногенних систем у зонах їхнього розташування [8]. Далі постає питання визначення критеріїв для оцінювання рівня безпеки відшуканих об'єктів з метою подальшого їхнього ранжування. Оскільки під час вивчення космічних знімків майже неможливо визначити значення показників якості довкілля, на цьому етапі прогнозування доцільно проводити за доступними для вивчення параметрами об'єкту, а саме:

- площа об'єкту  $S$  та швидкість її зростання  $v_S$ ;

- частка  $S_{орг}$  площі об'єкту, яку займають відходи органічного походження, та динаміка  $v_{орг}$  її зміни за зростання загальної площі звалища  $S$ ;

- показники, що характеризують розташування відшуканого об'єкту, а саме – відстань до населених пунктів, кількість населення, що мешкає поблизу.

Відповідно до класифікатору [9] для успішного виконання завдання визначення несанкціонованих сміттєзвалищ необхідно використовувати космічні знімки надвисокого просторового розділення (0,5...15 м) у спектральному діапазоні 0,4...1,1 мкм., а саме QuickBird, WorldView, GeoEye, Pleiades, Ikonos, тощо. Ці знімки дозволяють дешифрувати звалища, проводити вимірювання площі всього об'єкту та окремих його частин. Отримати такі зображення є можливим з використанням архівних баз даних картографічних серверів у мережі Інтернет. Найдоступнішим з усіх джерел геоінформаційних даних є сервіс Google Earth.

Усі типи відходів мають різні характеристики, такі як щільність, габаритні розміри, хімічний склад, відбивальна здатність матеріалу, тощо. Втім, використовуючи метод універсальної класифікації знімку виявити місце скупчення відходів й визначити

його параметри з необхідною точністю надто складно, оскільки ділянки з окремими типами відходів можуть візуально зливатися з рослинністю, будівлями, дорогами, тощо. Також становить труднощі нормалізація знімків за рівнем освітленості [7]. Натомість додавання до аналізу текстурних ознак (розрахунку дисперсії середнього пікселя у ковзному вікні) дозволяє виявити зони з різкими перепадами характеристик яскравості. Методика виділення контурів звалищ з використанням методів розрізнення за яскравістю та текстурними характеристиками описано у роботах [10].

Місця розташування несанкціонованих звалищ знаходяться у більшості випадків на великій відстані від впорядкованих полігонів зберігання ТПВ. При цьому розміри окремих звалищ є досить невеликими, а розсіяння за досліджуваною територією – значним. Тому при початковому пошуку сміттєзвалищ, що потребують застосування природозахисних заходів, та прогнозуванні рівня їхньої безпеки доцільно розрізнити віднайдені об'єкти за наступними ознаками:

– санкціонованість, яка визначається його адміністративним статусом;

– впорядкованість, яка визначається відповідністю або невідповідністю умов експлуатації вимогам технічних регламентів.

Розподіл знайдених об'єктів за ознакою санкціонованості дозволяє істотно зменшити обсяг території для пошуку, оскільки санкціоновані звалища вже мають необхідні дозволи на облаштування та подальшу експлуатацію, а отже місце їхнього знаходження є відомим. Несанкціоновані сміттєзвалища, відповідно, таких дозволів не мають.

З позиції оцінювання рівня негативного впливу на довкілля найбільшу небезпеку становлять ТПВ органічного походження, оскільки їхнє розкладення проходить інтенсивніше з виділенням великої кількості забруднюючих речовин. Натомість на космічних знімках за параметрами яскравості й текстури органіки є близькою до навколишніх масивів рослинності (трави, дерев, тощо) [10], тому відділення зони розміщення матеріалів й органічної складової звалища від неорганічної доцільно проводити непрямим способом. Цей спосіб полягає у послідовному відокремленні й виключенні ділянок звалища з низьким рівнем небезпеки, які містять будівельне сміття, породні маси, тощо, оскільки такі відходи легко ідентифікуються на фоні підстильної рослинної поверхні внаслідок великого контрасту між ними.

Для визначення показників динаміки зміни загальної площі звалища та її частини, яку займають ТПВ органічного походження, необхідно дослідити серію космічних знімків об'єкту у різні моменти часу. З використанням функції зв'язування знімків за просторовими координатами з'являється можливість точного співставлення зображень об'єкту за кожною його ділянкою, навіть малою за розміром, у межах розділення знімку, визначивши досліджувані параметри швидкості зміни площі у кількісному вигляді. На рисунку 2 показано відповідну серію знімків Дергачівського полігону зберігання ТПВ.

**Оцінка та прогнозування техногенного впливу на довкілля**

Таким чином, за допомогою апроксимації результатів дослідження космічних знімків можна визначити залежності параметрів  $S$ ,  $v_S$ ,  $S_{opz}$ ,  $v_{opz}$  від часу, а також їх початкові значення.

Прийнявши для параметрів  $S$ ,  $v_S$ ,  $S_{opz}$ ,  $v_{opz}$

максимальні з одержаних значень серед усіх відшуканих об'єктів, як граничні припустимі значення, набір критеріїв безпеки з використанням нормативного підходу можна сформулювати у наступному вигляді:

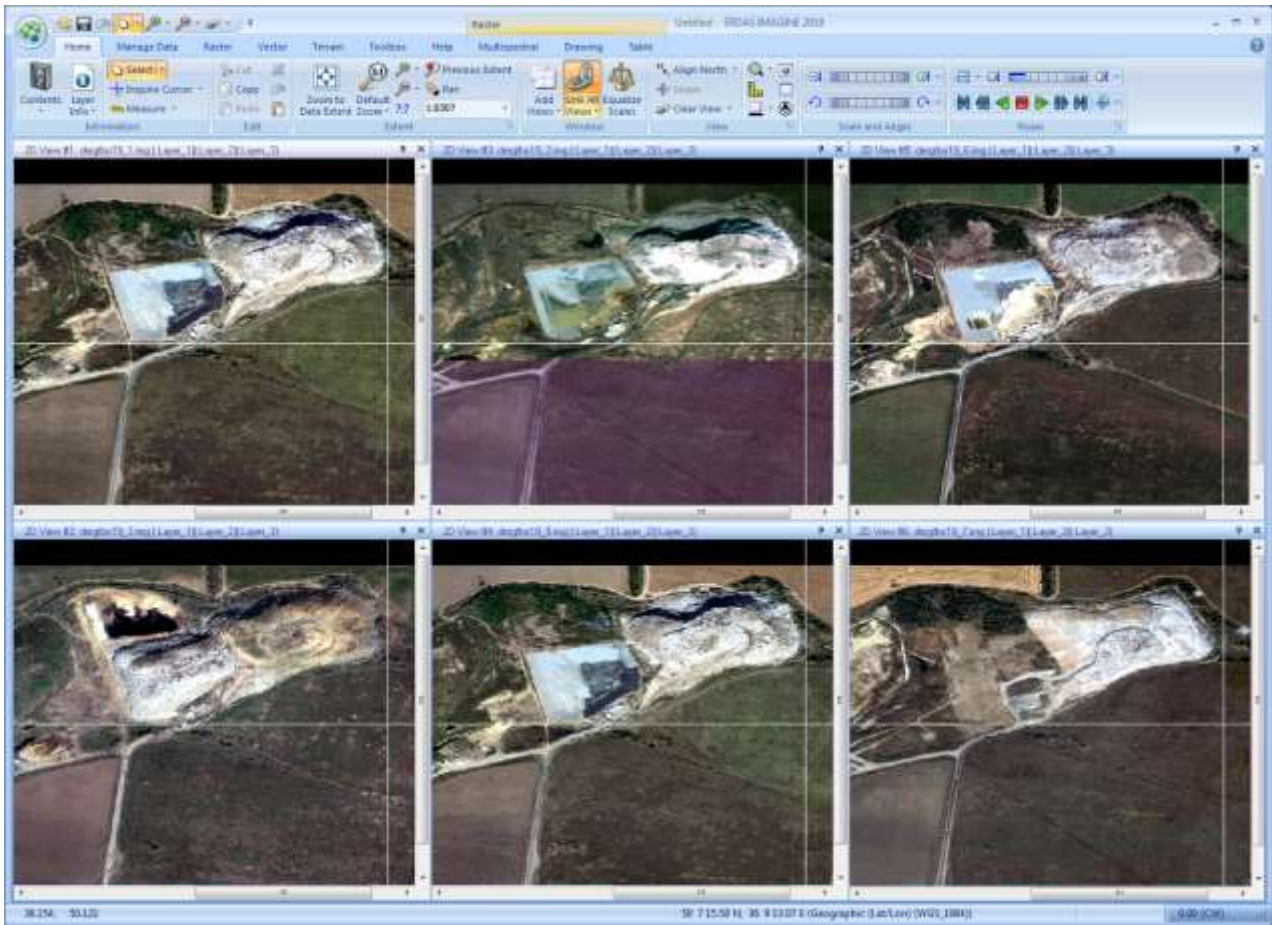


Рисунок 2 – Знімки Дергачівського полігону ТПВ у різні моменти часу, поєднані географічною прив'язкою

$$\left\{ \begin{array}{l} \chi_S = \frac{S}{[S]} = \bar{S} \leq 1; \\ \chi_{v_S} = \frac{v_S}{[v_S]} = \bar{v}_S \leq 1; \\ \chi_{S_{opz}} = \frac{S_{opz}}{[S_{opz}]} = \bar{S}_{opz} \leq 1; \\ \chi_{v_{opz}} = \frac{v_{opz}}{[v_{opz}]} = \bar{v}_{opz} \leq 1. \end{array} \right. \quad (10)$$

Визначивши термін часу та крок відліку, можна провести попереднє прогнозування рівня безпеки для кожного з відшуканих сміттєзвалищ, визначивши для кожного з виразу (9) значення  $\chi^{kp}$ . Далі за множиною значень  $\chi^{kp}$  для усієї сукупності досліджуваних об'єктів проводимо ранжування у порядку зменшення величини критерію безпеки  $\chi^{kp}$ . Порядок ранжування визначає відповідно порядок обстеження й впорядкування відшуканих несанкціонованих сміттєзвалищ, розташованих на контрольованій території.

Подальше уточнення результатів попереднього прогнозування рівня безпеки стає можливим після безпосереднього польового обстеження території об'єкта з метою визначення наступних параметрів:

- рельєф основи об'єкту (схил, рівне місце, низина);
- уточнені розміри об'єкту й об'єм накопичених відходів, в тому числі окремо органічного походження;
- якісний склад звалища згідно класифікатора відходів ДК 005;
- ознаки поточного поповнення звалища «свіжим» сміттям, орієнтовна швидкість поповнення;
- уточнене значення відстані до населених пунктів;
- наявність поблизу звалища інших об'єктів підвищеної екологічної або техногенної небезпеки – скотомогильників, водоочисних споруд, тощо;
- наявність поблизу звалища об'єктів природоохоронного фонду.

Далі аналогічним чином для отриманих параметрів визначаються граничні припустимі значення, формується набір критеріїв та проводиться прогнозування. При цьому точність прогнозу підвищиться

## Оцінка та прогнозування техногенного впливу на довкілля

завдяки врахуванню більшої кількості параметрів та більшій точності вимірювання  $S$ ,  $v_S$ ,  $S_{opz}$ ,  $v_{opz}$ , які вже використовувалися для прогнозування.

Далі необхідним є детальне прогнозування, результати якого дозволять підвищити ефективність розроблених проектних рішень, оскільки вони будуть враховувати не лише наявний, а й прогнозований у майбутньому рівень безпеки досліджуваного об'єкту.

**ВИСНОВКИ.** Основним результатом поданої роботи є вдосконалення методу прогнозування рівня безпеки несанкціонованого сміттєзвалища шляхом використання імітаційного моделювання. Основною перевагою запропонованого методу у порівнянні з тими, що використовуються сьогодні, є урахування усього комплексу діючих факторів негативного впливу сміттєзвалища на довкілля у поєднанні з супутніми факторами ризику виникнення НС, одночасно мінімізувавши кількість значущих показників якості навколишнього природного середовища. Завдяки цьому з'являється можливість зниження обсягів обчислень, необхідних для точного оцінювання набором нормативних критеріїв, а також спрощується процедура прогнозування без втрати точності.

Для практичної реалізації запропонованого методу необхідним є проведення системних досліджень, направлених на створення бази формалізованих критеріїв за якнайбільшою кількістю показників, що використовуються при оцінюванні якості довкілля, які б враховували зв'язок між природними процесами в ній з параметрами функціонування об'єкту, що є джерелом негативного впливу. Кінцевою метою досліджень є розробка й реалізація придатних до практичного використання методик визначення показників й формалізації залежностей, які визначають відповідні зв'язки.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Матвеев, Ю. Б. Полигоны бытовых отходов: ситуация и перспективы [Текст] / Ю. Б. Матвеев, А. Ю. Пухнюк // Твердые бытовые отходы. – К., 2013. – № 6. – С. 37-42.
2. Пушкарьова-Безділь, Т. М. Проблема поширення територій несанкціонованих звалищ твердих побутових відходів на землі природно-заповідного фонду України [Текст] / Т. М. Пушкарьова-Безділь // Науковий вісник НЛТУ України. – Львів : РВВ НЛТУ України, 2013. – Вип. 23.6. – С. 313-316.
3. Романова, Е. М., Мониторинг несанкционированных свалок ТБО в Ульяновской области [Текст] / Е. М. Романова, В. Н. Любомирова, В. В. Романов // Аграрная наука и образование на современном этапе

развития: опыт, проблемы и пути их решения: материалы VI Междунар. науч.-практ. конф. – Ульяновск: ГСХА им. П.А.Столыпина, 2015. – Ч. III. – С. 27-29.

4. Проблемы, возникающие при обращении с твердыми бытовыми отходами, и возможные пути их решения [Электронный ресурс] / В. П. Шаповрев, О. А. Лопухина, М. А. Жабер и др. // Интегрированные технологии и энергосбережение. – 2005. – № 1. – С. 3-9. – Режим доступа: [http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/2286/1/ITE\\_2005\\_1\\_Shaporev\\_Problemy,%20voznikayushchiye.pdf](http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/2286/1/ITE_2005_1_Shaporev_Problemy,%20voznikayushchiye.pdf).

5. Колосков, В. Ю., Полищук, Е. А. Утилизация непригодных для дальнейшего использования авиационных боеприпасов с учетом критериев безопасности [Текст] / В. Ю. Колосков, Е. А. Полищук // Экология и промышленность. – 2011. – № 4 (29) – С. 109–114. – Режим доступа: [http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis\\_nbuv/cgiirbis\\_64.exe?C21CO M=2&I21DBN=UJRN&Image\\_file\\_name=PDF/ekolpr om\\_2011\\_4\\_22.pdf](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21CO M=2&I21DBN=UJRN&Image_file_name=PDF/ekolpr om_2011_4_22.pdf).

6. Колосков, В. Ю. Моделирование мощности несущих конструкций зданий под час пожари [Текст] / В. Ю. Колосков // Проблемы пожарной безопасности: сб. науч. тр. – Вып. 38. – Х.: НУЦЗУ, 2015. – С. 83-90. – Режим доступа: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol38/Koloskov.pdf>.

7. Вамболь, В. В. Мониторинг несанкционированных мест скопления отходов с использованием космических снимков [Текст] / В. В. Вамболь, В. М. Шмандий, Д. Л. Крета // Технологический аудит и резервы производства. – Х., 2015. – № 5/6(25). – С. 42-45. – Режим доступа: <http://journals.uran.ua/tarp/article/download/51182/47254>.

8. Новохацька, Н. А. Можливості застосування ГІС і ДЗЗ для оцінки потенційних еколого-економічних збитків від місць видалення відходів [Текст] / Н. А. Новохацька, О. Г. Рогожин, В. О. Трофимчук // Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами з надзвичайних ситуацій: міжнар. наук.-практ. конф. – К.-Х.-АР Крим, 2013. – С. 158–165.

9. Белоцерковский, О. М. Метод крупных частиц в газовой динамике. Вычислительный эксперимент [Текст] / О. М. Белоцерковский, Ю. М. Давыдов. – М.: Наука, 1982. – 392 с.

10. Орлов, А. И. Проблемы управления экологической безопасностью [Текст] / А. И. Орлов, В. Н. Федосеев // Менеджмент в России и за рубежом. – М., 2000. – № 6. – С. 22–29.

## FORECASTING OF SAFETY LEVEL OF UNAUTHORIZED LANDFILL BASED ON SIMULATION MODELLING

S. Vambol, V. Vambol, V. Koloskov, Yu. Derkach

National University of Civil Protection of Ukraine

vul. Chernyshevs'ka, 94, Kharkiv, 61023, Ukraine. E-mail: koloskov@nuczu.edu.ua

**Purpose.** To develop method of forecasting of safety level of unauthorized landfills based on simulation modeling application. **Methodology.** We have applied the mathematical simulation of functioning process of unauthorized landfill taking into account interrelations of the processes taking place at the object and in the environment yet considering characteristics of these processes as responses of environment and object on influence of external factors. We have used normative approach for development of criteria of safety level estimation. **Results.** We have developed the mathematical model of functioning process of unauthorized landfill taking into account interrelations of the processes taking place at the object and in the environment. We have developed criteria for preliminary estimation of safety level of the unauthorized landfill taking into account these interrelations. We have improved method of forecasting of safety level of unauthorized landfills by application of the developed mathematical model and criteria. **Originality.** For the first time, we have developed the improved method of forecasting of safety level of unauthorized landfills allowing to account the whole complex of acting factors of negative influence of the landfill at the environment in connection with accompanying factors of risk of extreme situations occurrence and at the same time to decrease the number of meaning indexes of environmental quality. **Practical value.** Application of the proposed method allows us to achieve stable and sufficiently accurate statistics of succession of events without experiments taken on real landfills, which may lead to extreme situations occurrence. It gives us an opportunity to decrease the amount of calculations needed for accurate estimation of the landfill safety level with the set of normative criteria and at the same time to simplify the forecasting procedure without accuracy loss. *References 10, tables 0, figures 2.*

**Key words:** forecasting, safety level, simulation modelling, risk factors, landfill, wastes.

## REFERENCES

1. Matveev Yu. B. and Puhnjuk A. Yu. (2013), "Landfills: situation and perspectives", *Municipal Solid Waste*, no. 6, pp. 37-42.
2. Pushkar'ova-Bezdil' T.M. (2013), "Problem of distribution of territories of not authorized ranges of firm household waste on the grounds reserve fund of Ukraine", *Naukovyj visnyk NLTU Ukrai'ny*, vol. 23.6, pp. 313-316.
3. Romanova E. M., Lubomirova V. N. and Romanov V. V. (2015), "Monitoring of illegal dumping of solid waste in the Ulyanovsk region", *Agrarnaja nauka i obrazovanie na sovremennom jetape razvitija: opyt, problemy i puti ih reshenija*, [Agrarian Science and Education on Modern Stage of Development: Experience, Problems and Ways of their Resolution. Proceedings of the 6-th International scientific and practical conference], Ulyanovsk, Ulyanovsk State Agricultural Academy, February 5-6, 2015, pp. 27-29.
4. Shaporev V. P., Lopuhina O. A., Zhaber M. A., Kanso V. A. and Shaporev P. V. (2005), "Problems arising on handling of solid domestic wastes and ways of their resolution", *Integrated Technologies and Energy Conservation*, no. 1, pp. 3-9, available at [http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/2286/1/ITE\\_2005\\_1\\_Shaporev\\_Problemy,%20voznikayushchiye.pdf](http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/2286/1/ITE_2005_1_Shaporev_Problemy,%20voznikayushchiye.pdf) (accessed October 7, 2016).
5. Koloskov V. Yu. and Polishuk E. A. (2011), "Utilization of ammunition not suitable for further usage taking into account safety criteria", *Ekologiya i promyshlennost'*, no. 4(29), pp. 109-114, available at [http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis\\_nbuv/cgiirbis\\_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&Image\\_file\\_name=PDF/ekolprom\\_2011\\_4\\_22.pdf](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&Image_file_name=PDF/ekolprom_2011_4_22.pdf) (accessed October 16, 2016).
6. Koloskov V. Yu. (2015), "Modelling of strength of carrying constructions of buildings during the fire", *Problems of Fire Safety*, vol. 38, pp. 83-90, available at <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol38/Koloskov.pdf> (accessed October 16, 2016).
7. Vambol V. V., Shmandij V. M. And Kreta D. L. (2015), "Monitoring of unauthorized places of wastes accumulation using space pictures", *Technology audit and production reserves*, no. 5/6(25), pp. 42-45, available at <http://journals.uran.ua/tarp/article/download/51182/47254> (accessed October 7, 2016).
8. Novohac'ka N. A., Rogozhyn O. G. and Trofymchuk V. O. (2013), "Monitoring of illegal dumping of solid waste in the Ulyanovsk region", *Suchasni informacijni tehnologii upravlinnja ekologichnoju bezpekoju, pryrodokorystuvannjam, zahodamy z nadzvychajnyh sytuacij*, [Modern information technologies of management of environmental safety, nature management, extreme situations actions. Proceedings of the International scientific and practical conference], Kyiv-Kharkiv-Crimea, pp. 158-165.
9. Belocerkovskij O. M. and Davydov Ju. M. (1982), *Metod krupnyh chastic v gazovoj dinamike. Vychislitel'nyj jeksperiment* [Methods of large particles in gas dynamics. Computing experiment], Nauka, Moscow, Russia.
10. Orlov A. I., Fedoseev V. N. (2000), "Problems of environmental safety management", *Management in Russia and Abroad*, no. 6, pp. 22-29.