

УДК 614.84:628.472

*С. О. Вамболь, д-р техн. наук, професор, В. Ю. Колосков, канд. техн. наук, доцент,
Національний університет цивільного захисту України*

ВДОСКОНАЛЕННЯ КРИТЕРІЮ ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ БЕЗПЕКИ МІСЦЬ ЗБЕРІГАННЯ ВІДХОДІВ

Проаналізовано особливості розвитку надзвичайних ситуацій у місцях зберігання відходів. Визначено умови міцності елементів протизсувної конструкції під впливом пожежі, які враховують поведінку матеріалів у динаміці зміни режиму пожежогасіння. Запропоновано вдосконалений критерій оцінювання рівня безпеки при імітаційному моделюванні системи управління безпекою місця зберігання відходів під час пожежі за міцністю елементів протизсувної конструкції.

Ключові слова: *відходи, полігон, зсув, пожежа, система управління безпекою*

Постановка проблеми. Законом України від 18.01.2003 р. № 2245-III «Про об'єкти підвищеної небезпеки» об'єкт підвищеної небезпеки визначено як такий, на якому використовуються, виготовляються, переробляються, зберігаються або транспортуються одна або кілька небезпечних речовин чи категорій речовин у кількості, що дорівнює або перевищує нормативно встановлені порогові маси, або будь-якого іншого, що є реальною загрозою виникнення надзвичайної ситуації техногенного та природного характеру. Як можна бачити, під наведене визначення підпадають, зокрема, місця зберігання усіх видів відходів як санкціоновані, так і несанкціоновані. Вказані об'єкти водночас включені й до «Переліку видів діяльності та об'єктів, що становлять підвищену екологічну небезпеку», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 28.08.2013 р. № 808, при чому об'єктами підвищеної екологічної небезпеки вважаються об'єкти захоронення не лише небезпечних, а й побутових відходів.

Сьогодні в усьому світі як ніколи гостро постає проблема забезпечення безпеки на території місць зберігання відходів, в том числі при ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій (НС) на них. Велику небезпеку для життя та здоров'я людей під час подібних подій складають сукупні фактори різнопланових НС, які діють на ділянках відкритих територій. Аналіз НС техногенного та природного характеру на полігонах зберігання відходів демонструє

наявність взаємозв'язку між джерелами екологічної небезпеки та факторами ризику НС, особливо під час пожеж.

В Україні, як і у більшості країн пострадянського простору, окремого врахування пожеж, що відбуваються у місцях зберігання відходів, накопичення сміття тощо, до останнього часу не проводилося. Підтвердженням цьому є результати вивчення матеріалів зі зведених статистичних показників стосовно об'єктів виникнення пожеж, накопичених вітчизняними та закордонними дослідниками. Зокрема, у матеріалах аналізу масиву карток обліку пожеж, розміщених на офіційному веб-сайті Українського науково-дослідного інституту цивільного захисту (УкрНДІЦЗ) [1], при класифікації пожеж переважає підхід, орієнтований на першочергове врахування пожеж у будівлях та спорудах різного призначення. Безумовно, істотним підґрунтям для цього є той факт, що більшість людей гине та отримує травми під час саме таких подій. Втім, у читача, не обізнаного зі специфікою обліку пожеж, може скластися враження, що пожежі у місцях накопичення відходів не є достатньо поширеними в Україні, адже вже при першому погляді виникає природне бажання віднести місця розташування сміття до категорії інших об'єктів. Втім, цей показник обчислено за всіма можливими видами інших об'єктів укупі, він дорівнює менш ніж 25 %, а отже пожежі у місцях зберігання та накопичення відходів мали б становити ще меншу кількість. У повідомленнях же засобів масової інформації увагу, як правило, звертають на великі за

масштабом події, про що, зокрема, свідчить перелік, висвітлених в останні роки у вітчизняній пресі, пожеж на сміттєзвалищах (див. табл. 2).

Альтернативним джерелом інформації стосовно загальної кількості та розподілу пожеж в Україні та світі є серія статистичних звітів [2], які готує щорічно Центр пожежної статистики Міжнародної асоціації пожежно-рятувальних служб. Як свідчать представлені на офіційному веб-сайті асоціації дані, Україна до 2014 року не надавала окремо інформації стосовно пожеж, пов'язаних зі спалахуванням сміття. У звіті за 2015 рік дані стосовно цієї групи об'єктів в Україні знову зникають, однак, натомість, з'являється відповідна кількість пожеж, пов'язаних зі спалахуванням трави та кущів. Втім, навіть наявна статистика за один 2014 рік демонструє різку різницю з розглянутими раніше результатами. Як можна побачити, доля пожеж у місцях накопичення сміття та відходів за даними, наданими Україною Міжнародній асоціації пожежно-рятувальних служб, становить майже на 14 відсотків більше за величину, розраховану в матеріалах УкрНДЦЗ для усієї категорії інших об'єктів. Ще більш вражаюче виглядають дані стосовно розподілу об'єктів виникнення пожеж для м. Києва, адже кількість пожеж у місцях накопичення сміття виявляється навіть більшою за кількість пожеж у будівлях. Пояснити таке розходження у результатах можна лише за умови, що частину пожеж, пов'язаних зі спалахуванням сміття у місцях його накопичення та зберігання, у національних статистичних звітах було віднесено до категорій пожеж у різних типах споруд та будівель. Загалом отримані дані [2] свідчать про те, що більшість з врахованих випадків пожеж у місцях накопичення та зберігання відходів було зареєстровано у країнах Східної Європи, серед яких, на жаль, Україна є беззаперечним лідером. Загальносвітова статистика виглядає порівняно кращою, однак для багатьох країн випадки подібних пожеж взагалі не враховуються при формуванні відповідних звітних даних, що суттєвим чином впливає на отримані результати.

Особливу небезпеку пожежі у місцях накопичення великих обсягів твердих побутових відходів (ТПВ) набувають через можливість виникнення на них зсувів великих мас відходів, наслідки чого у окремих випадках є катастрофічними, підтвердженням чого слугує цілий ряд НС, наведений у таблиці 1. Виходячи з усього вищенаведеного, проблема підвищення безпеки місць зберігання відходів в Україні та інших країнах світу є безумовно актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Попередити виникнення катастрофічних зсувів внаслідок пожеж на полігонах зі зберігання ТПВ дозволяє зведення на них протизсувних споруд, однак при їх проектуванні практично не приділяється увага питанням, пов'язаним зі зміною міцнісних характеристик використовуваних матеріалів у залежності від факторів середовища, в тому числі від температури. Аналіз літературних джерел продемонстрував наявність достатньої кількості робіт, присвячених питанню розрахунків міцності протизсувних конструкцій, наприклад, у роботі [3] представлений метод розрахунку пальної протизсувної конструкції, однак, при його використанні фізико-механічні характеристики матеріалів палі вважаються незмінними. Натомість під впливом факторів пожежі границі міцності будівельних матеріалів можуть суттєво змінюватися, тому використання цього підходу для розрахунку міцності конструкції, створеної у місці зберігання відходів, потребує суттєвого уточнення.

В державних стандартах України, впроваджених згідно з ДБН А.1.1-94:2010 за програмою імплементації системи стандартів Єврокод та присвячених, зокрема, питанням розрахунків конструкцій на вогнестійкість, представлені математичні моделі залежності від температури властивостей будівельних матеріалів, що мають використовуватися при проектуванні будівель та споруд. Точність наведених моделей є цілком достатньою, однак вони визначені для температурних режимів, аналогічних стандартному, а отже не можуть бути застосовані при більш складних залежностях температури від часу без суттєвого уточнення.

«Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація»

Таблиця 1 – Найбільш катастрофічні надзвичайні події у місцях зберігання відходів у світі

Назва об'єкта, міста та країни розташування	Дата	Кількість загиблих	Характеристика події
Полігон зберігання ТПВ, м. Коломбо, Шрі-Ланка	14.04.2017 р.	28	1. Зсув мас сміття на сусідні будинки. 2. Пожежа внаслідок спалахування метану за декілька годин до зсуву. 3. Потужна злива у попередню добу. 4. Порушення умов складування відходів.
Полігон зберігання ТПВ, м. Аддис-Абеба, Ефіопія	12.03.2017 р.	113	1. Зсув мас сміття на сусідні будинки. 2. Пожежі внаслідок спалахування метану у попередній час. 3. Порушення умов складування відходів.
Полігон зберігання ТПВ, С. Великі Грибовичі, Львівська обл., Україна	30.05.2016 р.	4	1. Зсув мас сміття. 2. Пожежа на полігоні у попередні дні. 3. Використання для гасіння пожежі великих обсягів води. 4. Порушення умов складування.
Полігон зберігання ТПВ, м. Бандунг, Індонезія	21.02.2005 р.	147	1. Зсув мас сміття на сусідні будинки. 2. Потужні зливи у попередні дні. 3. Пожежі внаслідок спалахування пластику та паперу у попередній час. 4. Порушення умов складування відходів.

У роботах багатьох авторів [4-7] представлені різні підходи до створення уточнених методів визначення вогнестійкості матеріалів несучих конструкцій, однак питанням аналізу міцності у динаміці сприйняття зовнішнього термічно-силового впливу приділяється недостатньо уваги. Зокрема, у [4] представлений експериментально-розрахунковий метод, який є уточненим відносно методу, представленого у стандартах Єврокод, але він також не бере до уваги зміни навантаження на елемент конструкції під час самої пожежі.

Загальний підхід до створення моделей, що використовувався у дослідженнях, викладено у роботі [8]. Що стосується застосування даного підходу для окремих випадків у вирішенні проблем забезпечення безпеки як загального плану, так і конкретних задач, ці результати викладено у роботах автора [9-13], зокрема у роботах [11, 12] було сформовано імітаційну модель системи управління безпекою під час пожежі та запропоновано критерії оцінювання рівня безпеки за міцністю несучої конструкції за умови відповідно рівномірного та нерівномірного нагрівання її

елементів за довжиною та збереження пружного характеру деформацій в них. В роботі [13] було досліджено вплив наявності пластичних деформацій у перенавантаженому елементі конструкції на його вогнестійкість.

Формулювання цілей статті.

Метою представленої роботи є дослідження впливу факторів пожежі у місці зберігання відходів на вогнестійкість елементів протизсувної конструкції. Для досягнення поставленої мети поставлено та вирішено наступну задачу:

- розробити критерій оцінювання рівня безпеки при імітаційному моделюванні системи управління безпекою місця зберігання відходів під час пожежі за міцністю елементів протизсувної конструкції.

Виклад основного матеріалу дослідження. Згідно ДСТУ Б В.1.1-4-98 навантаження при випробуванні зразків на вогнестійкість встановлюються з урахуванням лише сталих та тимчасових тривалих напружень. Відомі та широкоживані методи розрахунку критичних температур та меж вогнестійкості елементів конструкцій, що використовують такий підхід [5,7]. Натомість

у [12] було показано, що тимчасові навантаження внаслідок температурних деформацій елементів конструкцій, а також ваги вогнегасильної суміші можуть за деяких умов суттєво їх перевищувати, а отже визначені за пропонованими методиками критичні температури нагрівання виявляються завищеними, та такими, що мають бути скореговані з урахуванням всіх умов перебігу пожежі та використовуваних засобів пожежогасіння.

За результатами моделювання міцності балки перекриття у роботі [12] за умови забезпечення збереження пружного характеру деформації критичні температури для різних марок сталей знаходилися у діапазоні значень 80...90 °С. У роботах деяких авторів, присвячених дослідженню проблеми вогнестійкості будівельних конструкцій, є посилання на набагато більші значення критичної температури, отримані в експериментах за нормативного експлуатаційного навантаження, наприклад для сталей різних марок у [7] наведені значення у діапазоні 470...550 °С. Однією з причин значної відмінності у отриманих даних може бути недостатня увага до резерву міцності, який заключений у можливості непружного деформування елементів несучої конструкції.

У представленій роботі було проведено дослідження впливу факторів пожежі у місці зберігання відходів на міцнісні властивості матеріалів елементів протизсувних конструкцій, результати якого дозволили створити інтегровану модель їх напружено-деформованого стану під час пожежі з урахуванням наявності в них пружно-пластичних деформацій.

Під час пожежі у місці зберігання відходів за умови застосування засобів пожежогасіння у елементах протизсувної конструкції виникає складний напружено-деформований стан, який визначається комбінацією стискання у повздовжньому напрямку внаслідок температурних деформацій та згинання у поперечному напрямку внаслідок навантаження від мас сміття та залишків поданої до зони горіння вогнегасильної суміші. Використовуючи результати роботи [13], сформулюємо критерій оцінювання рівня безпеки за

вимогою збереження несучої здатності елементу конструкції з урахуванням наявності пружнопластичного деформування під дією факторів пожежі, який можна представити у наступному формалізованому вигляді:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\varepsilon_K(T_K(t)) \cdot E(T_K(t))}{\sigma_T(T_K(t))} \leq 1; \\ \frac{(\sigma_0(t) + \sigma_M(t)) \cdot \frac{W_x}{2 \cdot S_p(A_p)}}{\sigma_T(T_K(t))} \leq 1; \\ \frac{(\tau_0(t) + \tau_M(t))}{\tau_B(T_K(t))} \leq 1, \end{array} \right. \quad (1)$$

де $t_{руйн}$ – час руйнування елементу конструкції; σ_0 , τ_0 – значення нормальних та дотичних напружень за рахунок навантаження від розташованих у приміщенні об'єктів та самого перекриття; σ_M , τ_M – значення нормальних та дотичних напружень за рахунок навантаження залишками вогнегасильної суміші, накопичених у товщі відходів; W_x – осьовий момент опору перерізу; $S_p(A_p)$ – залежність між значенням статичного моменту зони пластичного розтягування відносно нейтральної осі перерізу та площиною відповідної зони, яку встановлюють з геометричних міркувань; $T_K(t)$ – значення температури елемента у досліджуваному перерізі у момент часу t від початку пожежі; E – модуль пружності матеріалу; σ_T – границя текучості матеріалу; ε_K – відносна лінійна деформація елементу конструкції, яка у загальному випадку може бути представлена деякою функцією від значення відносної лінійної деформації розширення матеріалу ε_T

$$\varepsilon_K(t) = \Psi(\varepsilon_T(T_K(t))), \quad (2)$$

вигляд якої визначається розрахунковою схемою протизсувної конструкції в цілому та схемою закріплення елемента.

Для практичного застосування критерію (1) застосовано інтегральну модель

напружено-деформованого стану елементів конструкцій у вигляді залежностей

$$E(T_K) = E_{20} \cdot k_E(T_K); \quad (3)$$

$$\sigma_T(T_K) = \sigma_{T20} \cdot k_T(T_K), \quad (4)$$

де $k_E(T_K)$, $k_T(T_K)$ – апроксимуючі залежності відповідних коефіцієнтів; E_{20} , σ_{T20} – значення модуля пружності та границі текучості, визначених для матеріалу за нормальних умов ($T=20$ °C).

Для практичного використання запропонованої моделі необхідно задати лише параметри E_{20} та σ_{T20} , отримавши можливість перейти до розгляду поведінки елементів протизсувної конструкції у тривимірному просторі «температура-деформація-напруження», що допоможе визначати безпечні режими навантаження елементів у процесі НС, а також їх розвантаження без руйнування в процесі ліквідації наслідків НС у вигляді керуючих залежностей між деформацією та температурою. Слід зазначити, що вигляд

запропонованих критеріальних залежностей (1) не зміниться і за інших видів НС без присутності факторів впливу пожежі. Наприклад, за катастрофічних злив навантаження від накопичених мас дощової води можна враховувати у складових σ_M , τ_M .

Висновки.

Запропонована формалізація умов міцності елемента протизсувної конструкції дає можливість аналізувати її поведінку при складному температурному режимі та змінному навантаженні на окремі її ділянки у процесі протікання НС, а також при виконанні робіт з ліквідації її наслідків на території місць зберігання відходів.

Перспективи подальших досліджень. Для практичної реалізації запропонованого критерію необхідним є проведення системних досліджень, направлених на визначення формалізованих залежностей фізико-механічних характеристик матеріалів протизсувних конструкцій від температури.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Український науково-дослідний інститут цивільного захисту. Аналіз масиву карток обліку пожеж. Режим доступу: <http://undicz.dsns.gov.ua/ua/Analiz-masivu-kartok-obliku-pozhezh.html> (дата звернення 17.10.2017).
2. International Association of Fire and Rescue Service. World Fire Statistics. Режим доступу: <http://www.ctif.org/ctif/world-fire-statistics> (дата звернення 17.10.2017).
3. Готман А. Л. Расчет противооползневых свайных сооружений. Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2013. Вып. 2(27). С. 1-7.
4. Поздеев С. В. Верификация результатов уточненного расчетного метода определения пределов огнестойкости железобетонных конструкций. Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. 2011. Вып. 29. С. 141-148.
5. Мосалков И. Л., Плюснина Г. Ф., Фролов А. Ю. Огнестойкость строительных конструкций. М.: ЗАО «СПЕЦТЕХНИКА», 2001. 496 с.
6. Яковлев А. И. Расчет огнестойкости строительных конструкций. М.: Стройиздат, 1988. 143 с.
7. Ройтман В. М. Инженерные решения по оценке огнестойкости. М.: Ассоциация «Пожарная безопасность и наука», 2001. 382 с.
8. Shannon R. E. Systems simulation: the art and science. Prentice Hall, 1975. 387 p.
9. Вамболь С. О., Вамболь В. В., Колосков В. Ю. та ін. Прогнозування рівня безпеки несанкціонованого сміттєзвалища з використанням імітаційного моделювання. Екологічна безпека. 2016. № 2/2016(22). С. 51-58.
10. Колосков В. Ю. Моделі та методи прогнозування рівня безпеки полігону зі зберігання твердих побутових відходів. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Зб. наук. праць. Серія «Механіко-технологічні системи та комплекси». 2016. №4(1176). С. 142-146.

11. Колосков В. Ю. Моделирование прочности несущих конструкций зданий под час пожежі. Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. 2015. Вып. 38. С. 83-90.

12. Колосков В. Ю. Моделирование прочности несущих конструкций зданий за умов локалізованої пожежі. Проблемы

пожарной безопасности: Сб. науч. тр. 2016. Вып. 39. С. 142-151.

13. Вамболь С. О., Колосков В. Ю. Моделирование влияния пластических деформаций у несущих конструкциях зданий на їх вогнестійкість під час пожежі. Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. 2016. Вып. 40. С. 48-56.

REFERENCES

1. Ukrainskyi naukovo-doslidnyi instytut tsyvilnoho zakhystu. Analiz masyvu kartok obliku pozhezh. Available at: <http://undicz.dsns.gov.ua/ua/Analiz-masyvu-kartok-obliku-pozhezh.html> (accessed on 17.10.2017).

2. International Association of Fire and Rescue Service. World Fire Statistics. Available at: <http://www.ctif.org/ctif/world-fire-statistics> (accessed on 17.10.2017).

3. Gotman A. L. Raschet protivopolznevnykh svaynykh sooruzheniy. Internet-vestnik VolgGASU. Ser.: Politematicheskaya. 2013. Vol. 2(27). Pp. 1-7.

4. Pozdeev S. V. Verifikatsiya rezultatov utochnenogo raschetnogo metoda opredeleniya predelov ognestoykosti zhelezobetonnykh konstruktsiy. Problemy pozharnoy bezopasnosti: Sb. науч. тр. 2011. Vol. 29. Pp. 141-148.

5. Mosalkov I. L., Plyusnina G. F., Frolov A. Yu. Ognestoykost stroitelnykh konstruktsiy. M.: ZAO «SPYeTsTYeKhNIKA», 2001. 496 p.

6. Yakovlev A. I. Raschet ognestoykosti stroitelnykh konstruktsiy. M.: Stroyizdat, 1988. 143 p.

7. Roytman V. M. Inzhenernye resheniya po otsenke ognestoykosti. M.: Assotsiatsiya «Pozharnaya bezopasnost i nauka», 2001. 382 p.

8. Shannon R. E. Systems simulation: the art and science. Prentice Hall, 1975. 387 p.

9. Vambol S. O., Vambol V. V., Koloskov V. Yu., etc. Prohnozuvannya rivnia bezpeky nesanktsionovanoho smittiezvalyshcha z vykorystanniam imitatsiinoho modeliuвання. Ekolohichna bezpeka. 2016. No.2/2016(22). Pp. 51-58.

10. Koloskov V. Yu. Modeli ta metody prohnozuvannya rivnia bezpeky polihonu zi zberihannya tverdykh pobutovykh vidkhodiv. Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI». Zb. nauk. prats. Seriya «Mekhaniko-tekhnolohichni systemy ta komplekсы». 2016. No.4(1176). Pp. 142-146.

11. Koloskov V. Yu. Modeliuвання mitsnosti nesuchykh konstruktsii budivel pid chas pozhezhi. Problemy pozharnoy bezopasnosti: Sb. науч. тр. 2015. Vol. 38. Pp. 83-90.

12. Koloskov V. Yu. Modeliuвання mitsnosti nesuchykh konstruktsii budivel za umov lokalizovanoi pozhezhi. Problemy pozharnoy bezopasnosti: Sb. науч. тр. 2016. Vol. 39. Pp. 142-151.

13. Vambol S. O., Koloskov V. Yu. Modeliuвання vplyvu plastychnykh deformatsii u nesuchykh konstruktsiiakh budivel na yikh vohnestiikist pid chas pozhezhi. Problemy pozharnoy bezopasnosti: Sb. науч. тр. Vol. 40. Pp. 48-56.