

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОСОЧЕННЯ РІДИНИ В СИПУЧИЙ МАТЕРІАЛ

*Абрамов Ю.О., д.т.н., професор,*

*Басманов О.Є., д.т.н., професор,*

*Олійник В.В., к.т.н., доцент*

*Національний університет цивільного захисту України*

Значна кількість надзвичайних ситуацій, що виникають в хімічній, переробній промисловості і на транспорті, починаються з аварійного розливу горючих або інших небезпечних рідин. Інфільтрація рідини в ґрунт призводить до забруднення водних ресурсів: як підземних вод, так і річкових. Але найбільшу небезпеку являє займання розливу горючої рідини. Це загрожує не лише розповсюдженням пожежі на сусідні технологічні об'єкти і природні ландшафти, а й призводить до викиду забруднюючих речовин в атмосферу. Розповсюджуючись на великі відстані, вони істотно впливають на стан повітря і створюють ризики для населення.

В роботі [1] проаналізовано ризики, що виникають при транспортуванні залізницею небезпечних вантажів. Не зважаючи на існуючі нормативні документи, що регламентують правила пожежної безпеки при перевезенні небезпечних вантажів, аварії з їх участю все одно трапляються. Це підтверджується надзвичайними ситуаціями, пов'язаними з розливом або горінням горючих рідин, які виникали на залізничному транспорті в Україні і світі в останні роки.

Розробка планів локалізації надзвичайних ситуацій, пов'язаних з розливом горючих рідин, потребує визначення геометричних параметрів розливу та динаміки їх зміни в залежності від властивостей рідини і ґрунту. Просочення рідини в ґрунт зменшує товщину шару на його поверхні, а значить і площу розтікання. З іншого боку це призводить до забруднення ґрунтів і потрапляння забруднюючої рідини в підземні води. Отже однією з проблем при розтіканні рідини по поверхні ґрунту є її просочення в глибину.

Одним з поширених методів моделювання розтікання рідини по горизонтальній поверхні є використання принципу гравітаційного розтікання циліндричного шару рідини [2]. Аналізу моделей розтікання рідини на твердій поверхні присвячено роботу [3]. В ній на підставі порівняння розрахунків за моделлю [4] і експериментальних даних запропоновано модифікацію моделі. Недоліком такого підходу є те, що запропонована корекція залежить від умов, в яких були проведені експериментальні дослідження.

Аналіз моделей розтікання горючих рідин, засвідчив, що вони не враховують просочення рідини в підстилаючу поверхню. Це, в свою чергу, призводить до похибок в оцінці розмірів розливу, та динаміки його утворення.

Метою роботи є розробка експериментальної методу для оцінки параметрів просочення рідини в сипучий матеріал.

Просочення рідини в сипучий матеріал, зокрема, ґрунт, описується моделлю Грін-Ампт (Green-Ampt) [5]. В моделі розглядається межа між сухим і вже змоченим ґрунтом. Просочення рідини вглиб ґрунту призводить до руху цієї межі вниз. Швидкість просочення є швидкістю руху межі.

Перспективи подальших досліджень пов'язані із врахуванням отриманих залежностей в моделі розтікання рідини на ґрунті та моделі горіння розливу горючої рідини [6]. Врахування просочення рідини в ґрунт при її розтіканні і горінні дозволяє уточнити тепловий вплив пожежі на сталеві і бетонні конструкції [7].

На основі моделі Грін-Ампт запропоновано метод визначення параметрів просочення рідини в сипучий матеріал. Шляхом розв'язання системи диференціальних рівнянь, одне з яких описує зменшення товщини шару рідини на поверхні, а друге – динаміку просочення в глибину, отримано залежність між часом і глибиною просочення. Розвинення логарифмічної функції в ряд дозволяє замінити отриману ірраціональну залежність на апроксимуючий поліном. Для оцінки коефіцієнтів полінома використовується метод найменших квадратів, який в даному випадку призводить до задачі мінімізації, яка має єдиний розв'язок.

Залежність часу просочення сирої нафти в пісок від глибини просочення апроксимована поліномом, що містить доданки другої і третьої степенів відносно глибини просочення  $z$ . Відносна похибка такої апроксимації після першої хвилини розливу не перевищує 10 %.

Аналіз просочення сирої нафти в пісок свідчить, що глибина просочення і товщина шару рідини на поверхні піску пов'язані лінійно. Це дозволяє оцінити значення статичного параметру просочення – коефіцієнту пористості. Його значення в експерименті склало 0,314.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Huang W., Shuai B., Zuo B., Xu Y., Antwi E. A systematic railway dangerous goods transportation system risk analysis approach: The 24 model. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2019. 61. P. 94–103. DOI: 10.1016/j.jlp.2019.05.021.
2. Abramov Yu., Basmanov O., Krivtsova V., Salamov J. Modeling of spilling and extinguishing of burning fuel on horizontal surface. *Naukovyi Visnyk NHU*. 2019. 4. P. 86–90. DOI: 10.29202/nvngu/2019-4/16.
3. Raja S., Abbasi T., Tauseef S.M., Abbasi S.A. Equilibrium models for predicting areas covered by accidentally spilled liquid fuels and an assessment of their efficacy. *Process Safety and Environmental Protection*. 2019. 130. P. 153–162. DOI: 10.1016/j.psep.2019.08.009.
4. Meel A., Khajehnajafi S. A comparative analysis of two approaches for pool evaporation modeling: Shrinking versus nonshrinking pool area *Process Safety Progress*. 2012. 34. P. 304–314. DOI: 10.1002/prs.11502.
5. T.K. Tokunaga. Simplified Green-Ampt Model, Imbibition-Based Estimates of Permeability, and Implications for Leak-off in Hydraulic Fracturing. *Water Resources Research*. 2020. DOI: 10.1029/2019WR026919.
6. Abramov Y.A., Basmanov O.E., Mikhayluk A.A., Salamov J. Model of thermal effect of fire within a dike on the oil tank. *Naukovyi Visnyk NHU*. 2018. 2. P. 95–100. DOI: 10.29202/nvngu/2018-2/12.
7. Otrosh Yu., Semkiv O., Rybka E., Kovalov A. About need of calculations for the steel framework building in temperature influences conditions. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. 708. 1.