**ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕОМЕТРІЇ ВИПРОМІНЮЮЧОЇ ПОВЕРХНІ ПОЛУМ’Я НАД РОЗЛИВОМ ГОРЮЧОЇ РІДИНИ**

*Андрій РАДУЛ*

*Володимир ОЛІЙНИК, кандидат технічних наук, доцент*

*Національний університет цивільного захисту України*

Підприємства хімічної промисловості мають тенденцію до укрупнення, що ще більше підвищує концентрацію небезпечних хімічних речовини на відносно невеликій площі. Незважаючи на заходи безпеки, що вживаються у виробництві, зберіганні та транспортуванні, великі аварії все одно трапляються. Однією з важливих причин великих аварій є «ефект доміно» [1]. Згідно зі статистичними даними [2], де були досліджено аварії за понад 50 років, «ефект доміно» найчастіше траплявся із скрапленим газом, нафтою і нафтопродуктами. Аварії відбувалися на технологічних установках (38,5 %), складах (33 %), при транспортуванні (10,6 %). Пожежі горючих рідин є одним із домінуючих сценаріїв розвитку (42 %) при аваріях на промисловості. Крім того, серед надзвичайних ситуацій, пов’язаних з пожежами, близько 60 % займають пожежі горючих рідин. Особливу небезпеку являє тепловий потік на сусідні технологічні об’єкти. Нагрів сталевих конструкцій резервуарів до температури самоспалахування горючої рідини, що в них зберігається, здатен призвести до вибуху парів рідини в газовому просторі резервуара або до горіння парів на виході з дихальних пристроїв. Перший випадок має місце, якщо концентрація парів в газовому просторі резервуара знаходиться між нижньою і верхньою концентраційними межами розповсюдження полум’я. Другий випадок – якщо концентрація парів в газовому просторі резервуара перевищує верхню концентраційну межу розповсюдження полум’я. Такий ланцюжок подій здатен призвести до каскадного розповсюдження пожежі на підприємствах хімічної та переробної промисловості. Аналіз показав, що 44 % аварій, для яких мав місце «ефект доміно», починалися з пожежі рідини. Такі пожежі можуть відбуватися як в резервуарах, так і на поверхні землі внаслідок розливу рідини. При цьому значна кількість аварій починається саме з розливу рідини. Вплив пожежі рідини на обладнання та персонал, що знаходиться поблизу, залежить від низки факторів, зокрема, властивостей рідини, що горить, розмірів дзеркала рідини, відстані до сусідніх об’єктів тощо. Для планування заходів, які б дозволили локалізувати аварію і запобігти її каскадному розповсюдженню, необхідно оцінити час, протягом якого температура сусідніх з пожежею об’єктів може досягти небезпечних значень. Отже, проблемою є каскадне розповсюдження пожежі, викликане її тепловим впливом на сусідні технологічні об’єкти.

Об’єктом дослідження є процес горіння рідини в розливі, а предметом дослідження – геометричні характеристики полум’я, зокрема, його довжина і кут нахилу. Основна гіпотеза дослідження – довжина полум’я над розливом горючої рідини визначається її питомою масовою швидкістю вигорання, формою і площею розливу та швидкістю вітру. Основними припущеннями є: – довжина полум’я над певною точкою розливу довільної форми дорівнює довжині полум’я над точкою кругового розливу, яка лежить на тій самій відстані від межі розливу; – кут нахилу полум’я під впливом вітру над розливом довільної форми дорівнює куту нахилу полум’я над круговим розливом з тією самою площею. Визначення геометричних параметрів випромінюючої поверхні полум’я спирається на емпіричні формули, що описують залежність довжини та кута нахилу полум’я від питомої масової швидкості вигорання, швидкості вітру і діаметра розливу за умови, що розлив має форму кола. Для побудови моделі випромінюючої поверхні полум’я в параметричній формі використовуються методи диференціальної геометрії. Для проведення розрахунків використовувалося середовище Delphi (Community Edition). Моделювання проводилося на прикладі сирої нафти, бензину, мазуту, трансформаторного масла, що розтікаються на поверхні ґрунту (гідравлічна провідність ґрунту K=1,68·10-7 м/с; показник капілярності hf=0,95 м; пористість ϕ=0,31).

Значна кількість надзвичайних ситуацій, що виникають при транспортуванні нафти і нафтопродуктів, починається з аварійного розливу рідини. Найбільшу небезпеку при цьому являє спалахування рідини. Це створює загрозу розповсюдження пожежі на сусідні природні ландшафти та технологічні об’єкти.

В [1] проаналізовано низку досліджень, в яких було отримано залежність довжини полум’я від діаметра осередку горіння у вигляді:

 (11)

де L – довжина факела; D – діаметр осередку горіння; η – питома масова швидкість вигорання; ρa – густина повітря; g – прискорення вільного падіння; a>0, n>0 – сталі, які залежать від особливостей проведення експерименту. Формула (1) може бути застосована до розливів рідини, що мають форму наближену до кола, але у випадку, коди форма розливу суттєво відрізняється від кола, використання (1) є ускладненим.

Розглядаючи довільну форму розливу будемо вважати, що довжина полум’я у довільній точці (x,y) розливу описується виразом:

 (22)

де r(x, y) – відстань від точки (x, y) до межі області розливу Ω.

Підставляючи в останній вираз значення для густини повітря ρa=1,29 кг/м3, прискорення вільного падіння g=9,8 м2/с, отримали формулу для довжини полум’я у довільній точці (x, y) розливу:

 (33)

Суть підходу полягає в тому, що довжина полум’я у заданій точці дорівнює довжині полум’я у точці кругового розливу, розташованій на тій самій відстані від межі розливу. Це дозволяє узагальнити (1) на випадок розливу довільної форми і отримати залежність (2). Її спрощення шляхом підстановки в нього значень для густини повітря і прискорення вільного падіння призводить до виразу (3). Із його аналізу випливає, до довжина полум’я має степеневу залежність від відстані до межі розливу і від питомої масової швидкості вигорання речовини. Зокрема, для горючих рідин показник степені для цих параметрів дорівнює 0,67 [2]. Отже, збільшення питомої масової швидкості вигорання призводить до збільшення довжини полум’я. Так, для бензину (η=0,048 кг/(м2·с)) довжина полум’я майже в 1,7 рази перевищує довжину полум’я для нафти (η=0,022 кг/(м2·с)).

Особливістю побудованої моделі випромінюючої поверхні полум’я над розливом горючої рідини є можливість її використання для розливу довільної форми, а не лише кругової [3]. Запропонована модель враховує інтенсивність вигорання рідини, а не використовує спрощену класифікацію горюча рідини/легкозаймиста рідина. Перевагою моделі є те, що вона спирається на низку експериментальних досліджень залежності довжини факела від розмірів осередку горіння, а також впливу вітру на кут відхилення полум’я від вертикальної осі. До обмежень моделі слід віднести неможливість її застосування за межами експериментальних даних, що лежать від її основі. Недоліком побудованої моделі є те, що вона виходить із сталої форми полум’я і не враховує його турбулентного характеру. Це призводить до похибки в оцінці величини теплового потоку випромінюванням від пожежі. Таким чином, перспективи подальших досліджень пов’язані із врахуванням випадкових пульсацій полум’я.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. Drysdale, D. An Introduction to Fire Dynamics. (2011). 3nd Edition, John Wiley & Sons, Ltd., New York.

2. Lees, F. P. (2012). Loss prevention in the process industries, 4th Edition.

3. Олійник В.В., Басманов О.Є. Модель випромінюючої поверхні полум’я над розливом горючої рідини в умовах вітру. Проблеми надзвичайних ситуацій. (2023). № 2(38), с.119-135.