

УДК 614.8:504.4:351.862

Ю.І. ГРИЦЮК<sup>1</sup>, М.Ю. ГРИЦЮК<sup>2</sup>

## МОДЕЛІ ОЦІНЮВАННЯ ТЕХНОГЕННИХ ЧИННИКІВ ПІД ЧАС ВИНИКНЕННЯ ПОЖЕЖ НА СХОВИЩАХ НАФТОПРОДУКТІВ

Наведено деякі моделі оцінювання техногенних чинників під час виникнення пожеж на сховищах нафтопродуктів, які враховують розсіювання шкідливих викидів у атмосфері та навколишньому середовищі з використанням нормального розподілу Гауса. Виявлено основні чинники техногенного впливу, які виникають при аваріях і катастрофах на сховищах нафтопродуктів. З'ясовано особливості розсіювання шкідливих викидів у атмосфері, визначено розподіл концентрації забруднювачів у атмосфері під факелом точкового джерела, а також висоту початкового підйому димового факела. Наведено моделі прогнозування процесу розсіювання шкідливих викидів у навколишньому середовищі, які є інструментами для кількісного оцінювання небезпечних чинників техногенного впливу й навантажень на людину та навколишнє середовище.

**Ключові слова:** пожежі, аварії та катастрофи, нафтопродукти, шкідливі викиди, навколишнє середовище, техногенний вплив, розподіл концентрації забруднювачів, факел точкового джерела, моделі кількісного оцінювання техногенних чинників

**Вступ.** За останнє десятиліття в Україні значно зросли масштаби господарської діяльності, внаслідок чого з'явилась велика кількість промислових комплексів, на яких було зосереджено різні енергетичні установки великої та надмірної потужності [6]. Використання ж на них значної кількості потенційно небезпечних речовин різної природи (хімічних, біологічних і радіоактивних) призводить до збільшення ймовірності виникнення техногенних аварій і катастроф [5, 9, 33].

Наприклад [18], влітку, 9 червня о 21:50 на території нафтобази “БРСМ-Нафта” у селі Крячки Васильківського району на Київщині сталася масштабна пожежа. За даними ДСНС України, пожежа на нафтобазі розпочалася з загоряння резервуару з паливом об'ємом 800 м<sup>3</sup>. Пізніше вогонь перекинувся ще на три резервуари, після чого відбулася низка вибухів. На пожежі загинули п'ять пожежних, а 14 рятувальників були поранені від вибухів, опіків і отруєння небезпечними хімічними речовинами. Пожежу вдалося ліквідувати тільки через два тижні. Позаяк пожежа сталася на рівнинній території, а стовп диму з нафтобази підіймався вертикально вгору, то більша частина забруднювачів одразу потрапляла у верхні шари атмосфери, де змішувалась з іншими повітряними масами, а шкідливі викиди швидко розвіялись у повітрі.

Небезпеку становили сажа, сірчана кислота та продукти окислення нафти, які виділяються під час

згоряння нафтопродуктів, проте їхній розподіл навіть на прилеглий території так і не було встановлено. Концентрація таких забруднювачів з плином часу поступово зменшувалася, тобто осідала на поверхнях і розбавлялася повітряними масами. Сажа, як небезпечний забруднювач повітря, часто потрапляла до дихальних шляхів людей на прилеглих територіях, відкладалася у носоглотці, трахеях, бронхах і спричиняла кашель. Чорний дим на місці пожежі свідчив про те, що частинки сажі мали великі розміри, тож вони швидко випадали на землю, про що свідчила на траві чорна роса, забруднена сажею. Окрім цього, до повітря та ґрунтів через цю пожежу потрапили сірчана кислота та бензопірен, які також є канцерогенами. Кислота здебільшого загрожувала на городах баштанним культурам – огіркам і кабачкам, водночас як інші культури до неї не такі вразливі.

Однак на території України зосереджена не тільки значна кількість сховищ нафто- і газопродуктів, але й існує чимала протяжність магістральних нафто-, газо- і продуктопроводів. Наприклад [19], протяжність магістральних нафтопроводів становить 3,9 тис. км, а магістральних газопроводів – більше 35,2 тис. км. Їх роботу забезпечує 31 компресорна нафтоперегінна та 89 компресорних газоперекачувальних станцій. Протяжність продуктопроводів становить 3,3 тис. км.

За даними НАК “Нафтогаз України” від 27 серпня 2014 р. ([www.naftogaz.com](http://www.naftogaz.com)), стан основних фон-

<sup>1</sup> ГРИЦЮК Юрій Іванович – дійсний член Лісівничої академії наук України, доктор технічних наук, професор кафедри програмного забезпечення, Національний університет “Львівська політехніка”, м. Львів, Україна. Тел.: +38-067-944-11-15. E-mail: yura.grycyuk@yandex.ru

<sup>2</sup> ГРИЦЮК Мар'яна Юрївна – магістр, викладач кафедри управління проектами, інформаційних технологій та телекомунікацій, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, м. Львів, Україна. Тел.: +38-067-698-50-16. E-mail: mariana.grytsiuk@gmail.com

дів і технічного обладнання нафто-, газо- і продуктопроводів показує, що наявна їх мережа вже давно виробила свій ресурс і з плином часу значно підвищує не тільки аварійність, а й появу потенційних катастроф. При цьому 4,79 тис. км (14%) лінійної частини магістральних газопроводів відпрацювали свій амортизаційний термін, а 15 тис. км (44%) мають малонадійні та неякісні антикорозійні покриття з полімерних стрічкових матеріалів, що призводить до інтенсивної корозії металу труб. Щорічно потрібно оновлювати 500 км лінійної частини магістральних газопроводів. Фактичне виконання робіт з капітального ремонту та реконструкції газотранспортної системи майже у 10 разів нижче, ніж потрібно.

Отже, техногенні аварії та катастрофи тільки на сховищах нафтопродуктів зумовлюють виникнення надзвичайних ситуацій зі значними соціально-екологічними та економічними збитками [11, 17, 32]. Їхня поява вимагає нагальної потреби ліквідації не тільки самої аварії та негативних наслідків від неї, а й захисту людей від дії шкідливих і небезпечних чинників, проведення рятувальних і евакуаційних робіт, надання невідкладної медичної допомоги потерпілим тощо.

Теоретичну та методологічну основу для вирішення проблемних питань оцінювання техногенних чинників під час виникнення пожеж і аварій на сховищах нафтопродуктів становлять праці В.А. Акімова [1, 2], В.І. Измалкова [11, 12], М.О. Клименка [13], І.В. Кочіна [15], В.Н. Луканіна [17], А.І Родіонова [24], В.С. Сафронова [26], Л.І. Северина [27], О.І. Федоренка [30], Г.А. Чернякова і Г.О. Чернякова [32], І.О. Хінце [31] та ін. Проте залишаються відкритими питання щодо: встановлення основних чинників техногенного впливу, які виникають при аваріях і катастрофах на сховищах нафтопродуктів; з'ясування особливостей розсіювання шкідливих викидів у атмосфері; застосування нормального розподілу Гауса для побудови моделей розсіювання шкідливих викидів у атмосфері та навколишньому середовищі тощо.

*Об'єкт дослідження* – формування небезпечних чинників техногенного впливу й навантаження на людину та навколишнє середовище.

*Предмет дослідження* – моделі та методи оцінювання техногенних чинників під час виникнення пожеж на сховищах нафтопродуктів, які спричиняють навантаження на навколишнє середовище.

*Мета роботи* полягає у пошуку шляхів підвищенні якості оцінювання техногенних чинників під час виникнення пожеж на сховищах нафтопродуктів шляхом розроблення моделей розсіювання шкідливих викидів у атмосфері та навколишньому середовищі з використанням нормального розподілу Гауса.

Для реалізації зазначеної мети потрібно виконати такі основні завдання дослідження:

- 1) виявити основні чинники техногенного впливу, які виникають при аваріях і катастрофах на сховищах нафтопродуктів;
- 2) з'ясувати особливості розсіювання шкідливих

викидів у атмосфері, що дасть змогу встановити поняття атмосферної турбулентності, визначити розподіл концентрації забруднювачів у атмосфері під факелом точкового джерела, а також висоту початкового підйому димового факела;

- 3) з'ясувати особливості застосування нормального розподілу Гауса для побудови моделей розсіювання шкідливих викидів у атмосфері, що дасть змогу встановити загальні його характеристики, навести основне рівняння розсіювання шкідливих викидів у атмосфері, виявити окремі випадки розрахунку приземних концентрацій забруднювачів, а також надати рекомендації щодо практичного використання рівнянь, які відповідають нормальному розподілу Гауса;
- 4) навести моделі розсіювання шкідливих викидів у навколишньому середовищі, які дадуть змогу розробити інструменти для кількісного оцінювання небезпечних чинників техногенного впливу й навантажень на людину та навколишнє середовище;
- 5) зробити відповідні теоретичні висновки та надати рекомендації щодо практичного використання розроблених моделей.

**Методи дослідження.** Використано методи теорії атмосферної турбулентності, розподілу концентрації забруднювачів у атмосфері під факелом точкового джерела, основне рівняння розсіювання шкідливих викидів у атмосфері, а також окремі випадки розрахунку приземних концентрацій забруднювачів з використанням закону нормального розподілу Гауса.

### **Результати досліджень.**

#### **1. Чинники техногенного впливу при аваріях і катастрофах на сховищах нафтопродуктів**

При появі пожеж на сховищах нафтопродуктів [1], які згодом можуть перерости в техногенні аварії чи катастрофи [3, 17, 21], виникає потреба моделювання процесів формування небезпечних чинників техногенного впливу на людину та навколишнє середовище [4]. Здійснюють таке моделювання на підставі аналізу характеру самої пожежі, динаміки і вражаючого впливу фізичних полів, що утворюються внаслідок неконтрольованого їх перебігу, шляхів поширення радіоактивних, небезпечних хімічних і біологічних речовин, а також формування дозових навантажень на людину та інші популяції й екосистеми [7, 20].

При оцінюванні небезпечних чинників техногенного впливу під час моделювання потрібно враховувати такі фізичні процеси [33]:

- формування, поширення і вплив ударних хвиль і поля розлітання осколків при вибухах, поля теплових потоків від пожеж, а також електромагнітні й звукові поля, що утворюються внаслідок неконтрольованих вибухів;
- формування, поширення й вплив аварійних викидів у атмосферу, а також зливів і скидання різних радіоактивних, небезпечних хімічних і біологічних речовин у навколишнє середовище.

Отже, надзвичайні ситуації техногенного походження загрожують людині, економіці й природному середовищу, тобто здатні створити загрозу людині внаслідок імовірного вибуху, пожежі, затоплення або забруднення (зараження) навколишнього середовища. У цьому дослідженні зупинимося тільки на процесах формування, поширення й впливу на людину небезпечних речовин, які викидаються у навколишнє середовище внаслідок виникнення пожеж чи аварій на сховищах нафтопродуктів.

У роботах [8, 31, 33] зазначено, що інтенсивність і дальність поширення вражаючих чинників при виникненні пожеж на сховищах нафтопродуктів залежать від виду самої пожежі. Під час прогнозування перебігу таких аварій, зазвичай, розглядають чотири категорії пожеж, які умовно названо: пожежами розлиття; пожежами з утворенням вогневих струменів; пожежами-спалахами; пожежами з утворенням вогневої кулі. Для виявлення основних чинників техногенного впливу зупинимось на кожній з них дещо детальніше.

*Пожежа розлиття* виникає під час спалаху випарів розливої горючої рідини на поверхні землі чи на водній поверхні. У разі такої пожежі відбувається стійке горіння випарів рідини внаслідок нагрівання її вогнем. Для розрахунку потоків термічного випромінювання використовують три методи: метод осевого джерела, метод об'ємного джерела і геометричний метод. В основу кожного з них закладають певні припущення. Найбільш точним є метод об'ємного джерела, згідно з яким вважають, що джерелом термічної радіації є вся зовнішня поверхня полум'я.

*Пожежі з утворенням вогневих струменів* відбуваються, коли горюча рідина або газ, що знаходиться під тиском, спалахують унаслідок витікання з випускного клапана чи з отвору в резервуарі або з трубопроводу. Такий вогневий струмінь може створювати великі теплові навантаження як на сам резервуар, від якого він ще більше нагрівається, так і на інші прилеглі резервуари та споруди, які можуть згодом спалахнути від надмірного нагрівання.

*Пожежі-спалахи* відбуваються, коли парогазова хмара, що складається із суміші легкозаймистого газу і повітря, досягла певної концентрації, після чого вона спалахує, а іноді й вибухає. Форма вогневого поля після спалаху близька до форми хмари перед пожежею, а після спалаху – в кілька разів більша. Швидкість процесу горіння й інтенсивність теплового випромінювання після спалаху парогазової суміші переважно залежать від концентрації й теплової здатності горючої речовини.

*Пожежі з утворенням вогневої кулі* виникають у разі потужного витікання горючої рідини або газу з відкритої поверхні резервуару, сильного перемішування випарів рідини з повітрям і, як наслідок, швидкого її спалахування. Початкова хмара часто має півсферичну форму, але потім швидко набуває контуру сфери, яка швидко піднімається вгору.

Під час прогнозування процесів формування, поширення й впливу аварійних викидів у навколишнє середовище, утворених внаслідок виникнення по-

жежі на сховищах нафтопродуктів, зливів і скидань різних небезпечних речовин радіоактивної, хімічної й біологічної природи, а також у процесі розроблення відповідних розрахункових схем передбачається [17]:

- моделювання процесів викидання й витікання різних небезпечних речовин з ємностей чи трубопроводів у аварійних умовах;
- моделювання процесів поширення шкідливих викидів з ємностей чи трубопроводів у навколишньому середовищі з урахуванням процесів їх атмосферної й гідрологічної дисперсії, міграції харчовими ланцюгами й перенесення, зумовленого фізико-механічними процесами;
- аналіз, оцінювання й розроблення розрахункової схеми впливу шкідливих викидів на суб'єкти і об'єкти техногенного ризику;
- моделювання процесів формування дозових навантажень на людину та на інші популяції й екосистеми.

Під час моделювання процесів викидання й витікання шкідливих викидів з ємностей чи трубопроводів у аварійних умовах використовують відомі співвідношення з гідроаеромеханіки [4, 12], що описують процеси викидання парогазової суміші та виливання рідин у різних атмосферних умовах [23]. Моделювання процесів поширення шкідливих викидів у навколишньому середовищі, а також аналіз, оцінювання й розроблення розрахункової схеми впливу шкідливих викидів на суб'єкти та об'єкти техногенного ризику буде розглянуто нижче при викладенні матеріалу. Водночас як моделювання процесів формування дозових навантажень на людину та на інші популяції й екосистеми плануємо розглянути у наступних публікаціях.

## 2. Особливості розсіювання шкідливих викидів у атмосфері

**Атмосферна турбулентність.** Розсіювання шкідливих викидів у атмосфері пов'язане з атмосферною турбулентністю й відбувається переважно внаслідок молекулярної та турбулентної дифузії [20, 31]. У проведенні відповідних розрахунків основне значення має турбулентна дифузія, водночас як молекулярна дифузія є незначною.

Турбулентна дифузія має дві складові частини: термічну і динамічну. Термічна дифузія забезпечує конвективну турбулентність, пов'язана з вертикальним температурним градієнтом повітря. Динамічна дифузія забезпечує механічну турбулентність, яка відбувається при русі повітряних мас та парогазової суміші під впливом вітру, а в нижніх шарах атмосфери посилюється під впливом макронерівностей рельєфу (лісових масивів) і не пов'язана з температурним градієнтом.

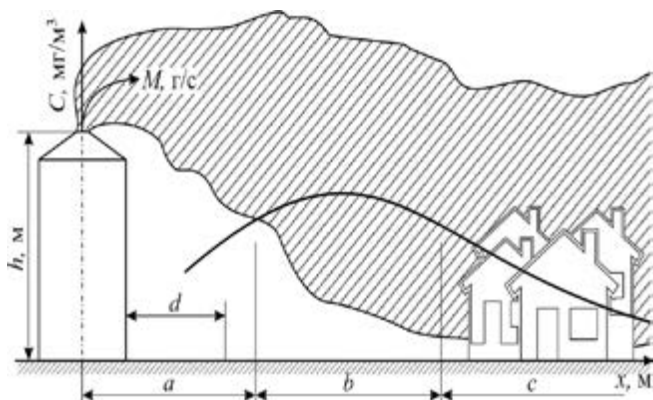
Отже, атмосферна турбулентність є результатом двох процесів:

- а) конвективної турбулентності, де утворені природні конвективні потоки є результатом нагрівання атмосфери ( $dp/dz$ );
- б) механічної турбулентності, де утворені потоки є результатом вітрового зрушення ( $du/dz$ ).

**Розподіл концентрації забруднювачів у атмосфері під факелом точкового джерела.** Розглянемо частковий випадок пожежі, що виникає внаслідок загоряння резервуару з нафтопродуктами, яку прийнято називати пожежею з утворенням вогневих струменів [1, 15]. У цьому випадку на процес розсіювання забруднювачів у атмосфері, що викидаються зі спускного клапана чи з отвору в резервуарі або із трубопроводу, істотний вплив мають такі чинники [29]:

- стан атмосфери в момент появи пожежі;
- фізичні й хімічні властивості речовин, що викидаються (щільність, температура газу, дисперсний склад сажі і т.ін.);
- висота і діаметр джерела викидання рідини чи парогазової суміші;
- розташування джерел викидання рідини чи парогазової суміші;
- рельєф місцевості, де передбачається осідання небезпечних забруднювачів.

На рис. 1 показано розподіл концентрації забруднювачів у атмосфері від факелу точкового джерела, який виходить через спусковий клапан резервуару [24]. З цього рисунка видно, що усередині *зони перекидання факела (a)* висока концентрація забруднювачів утворюється внаслідок крупно-дисперсних викидів, сажі та продуктів окислення нафти при її згоранні. *Зона задимлення (b)* та *зона забруднення крупно-дисперсними викидами (d)* є найбільш небезпечною для пожежно-рятувального персоналу, який працює без спеціального захисного оснащення. Розміри зони (b), залежно від метеорологічних умов, знаходяться в межах 10-30 висот точкового джерела, водночас як розміри зони (b) знаходяться в межах 0,5-3,0 від висоти  $h$ . У зоні (b) максимальна концентрація забруднювачів у приземному шарі атмосфери прямо пропорційна масовій витраті  $M$  шкідливих викидів і обернено пропорційна квадрату висоти точкового джерела  $h^2$ .



**Рис. 1. Концентрація забруднювачів у приземному шарі атмосфери під факелом точкового джерела:  $a$  – зона перекидання факела;  $b$  – зона задимлення;  $c$  – зона поступового зниження рівня забруднення;  $d$  – зона забруднення крупно-дисперсними викидами**

У зоні поступового зниження рівня забруднення (c) атмосфери та навколишнього середовища

концентрація шкідливих викидів поступово зменшується. Вона є придатною для короткотривалого перебування пожежно-рятувального персоналу без спеціального захисного оснащення.

У разі викиду в атмосферу одного чи більше односторонніх забруднювальних речовин з кількох джерел (однакової чи різної висоти), розташованих на значній відстані одне від одного, забруднення приземного шару атмосфери розраховують для кожного точкового джерела [17]. Отримані результати для цієї точки місцевості підсумовують з урахуванням падіння концентрацій в перпендикулярному напрямку до вітру. Залежно від співвідношення сумарних викидів з точкових джерел і відстані між ними в перпендикулярному напрямку відносно вітру максимальна сумарна концентрація забруднювальних речовин буде знаходитися або на осі джерела більшої потужності, або між точковими джерелами, але ближче до джерела більшої потужності [22, 28, 29, 33].

У разі розрахунку розсіювання шкідливих викидів, які виділяються в атмосферу через точкові джерела однакової висоти, розташовані на близькій відстані одне від одного, такі джерела потрібно приймати за одне еквівалентне точкове джерело такої ж висоти із сумарним обсягом забруднювальних речовин. При розташуванні більше двох сусідніх точкових джерел на одній лінії та збігу з нею напрямку вітру викиди будуть накладатися один на другий, що призведе до збільшення приземних концентрацій забруднювальних речовин. Шахове розташування зосереджених джерел (наприклад, резервуарів з нафтопродуктами) приводить до зменшення концентрацій домішок у приземному шарі атмосфери.

У роботі [24] наведено такі методики розрахунку:

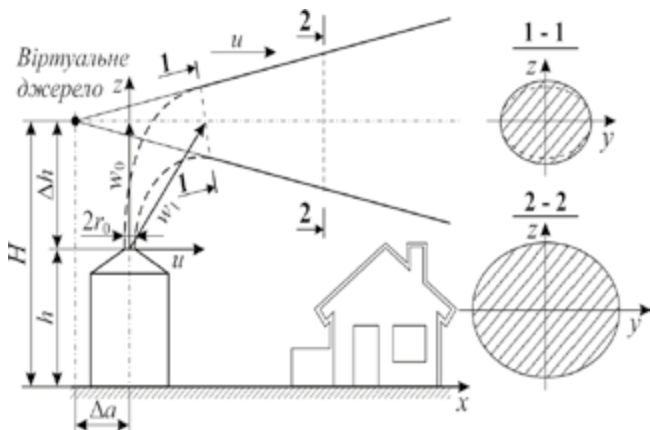
- методики розрахунку забруднення атмосфери викидами одиночного джерела, лінійного джерела, групи джерел і майданчикових джерел;
- методика розрахунку забруднень атмосфери з урахуванням сумарної дії кількох речовин;
- методики врахування рельєфу місцевості та фонових концентрацій при розрахунку забруднення атмосфери;
- норми щодо визначення мінімальної висоти джерел викидів, встановлення гранично допустимих викидів і визначення меж санітарно-захисних зон підприємств.

#### **Висота початкового підйому димового факела.**

Підвищення температури і швидкості руху струменя парогазової суміші, що викидається з точкового джерела, призводить до збільшення висоти димового факела, віддалення зони  $b$  і  $c$ , а також зниження приземної концентрації забруднювачів [4]. З рис. 2 видно, що у разі слабкого вітру парогазова суміш від вогневого струменя з точкового джерела спочатку рухається майже вертикально вгору і тільки на деякому рівні її поширення набуває горизонтальних складових.

Це пов'язано з тим, що струмінь парогазової суміші з точкового джерела зазвичай володіє почат-

ковою швидкістю підйому, спричиненою тиском у резервуарі, а сама парогазова суміш, утворена внаслідок горіння випарів нафтопродукту, має значно вищу температуру відносно навколишнього повітря [10]. Внаслідок цього створюється враження, що джерело розсіювання шкідливих викидів дещо підняте над резервуаром на висоту  $\Delta h$  (висота початкового підйому димового факела). Тому в розрахунках замість реального точкового джерела (здебільшого, спускового клапана чи отвору в резервуарі) з реальною висотою  $h$  переважно розглядають деяке віртуальне джерело з характерною ефективною висотою  $H$ , а саме  $H = h + \Delta h$ , де  $\Delta h$  залежить від швидкості підйому димового факела, швидкості вітру і перегріву парогазової суміші відносно повітря.



**Рис. 2. Віртуальне джерело розсіювання шкідливих викидів з ефективною висотою джерела  $H$  та початковим перерізом струменя парогазової суміші**

Значення  $\Delta h$  можна визначити на основі експериментальних даних за допомогою такої наближеної формули [2]:

$$\Delta h = \frac{3,75w_0r_0}{u} + \frac{1,6gv_0\Delta t}{t_a u^3}, \quad (1)$$

де  $w_0$  – швидкість викидання парогазової суміші з отвору резервуара, м/с;  
 $r_0$  – радіус вогневого струменя, м;  
 $u$  – швидкість вітру, м/с;  
 $v_0$  – об’ємна витрата парогазової суміші, м<sup>3</sup>/с;  
 $\Delta t$  – перегрів парогазової суміші відносно навколишнього повітря, °К;  
 $t_a$  – температура навколишнього атмосферного повітря, °К.

Для розроблення цієї формули використовували фотографії димових факелів, отриманих у природних і лабораторних умовах [13]. Окрім цього, параметр  $\Delta a = h \cdot (0,3 \div 0,7)$  – уявне перенесення точкового джерела у протилежний бік від напрямку вітру, зазвичай, під час проведення розрахунків до уваги не беруть. Однак у деяких точних моделях, наприклад скінченно-різницевої [25], його врахування є обов’язковим.

Процес розсіювання у атмосфері таких шкідливих викидів, як сажі, що складається з дрібно-

дисперсних твердих частинок (діаметр менше 10 мкм), має незначну швидкість осадження, підпадає під одні й ті ж закономірності та співвідношення з розділу гідроаеромеханіки [5]. Для дещо крупніших частинок сажі ці закономірності порушуються, оскільки швидкість їх осадження зростає під дією сили тяжіння [15, 32].

### 3. Модель розсіювання шкідливих викидів у атмосфері на підставі нормального розподілу

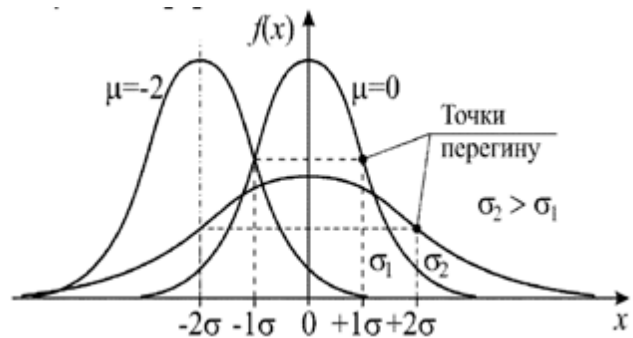
Загальна характеристика нормального розподілу Гауса. Змінна  $x$  вважається нормально розподіленою [17], якщо виконується співвідношення для такої функції щільності:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \text{Exp} \left( -\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2} \right), \quad (2)$$

де:  $\mu$  – будь-яке дійсне число, яке визначає місцезнаходження максимального значення функції  $f(x)$  на осі  $x$ ;

$\sigma$  – стандартне відхилення (будь-яке дійсне число більше від нуля), розширює або стискає дзвіноподібну криву Гауса (рис. 3).

Функція розподілу Гауса в нормованому вигляді – це площа, обмежена кривою, яка дорівнює одиниці. Числа  $\mu$  і  $\sigma$  є характеристиками місцезнаходження та форми кривої нормального розподілу. У загальному випадку близько 68% площі під кривою Гауса знаходиться в інтервалі між  $\pm 1\sigma$ , а близько 95% – між  $\pm 2\sigma$ . Це зростання ширини функції розподілу із збільшенням кількості  $\sigma$  має важливий фізичний зміст у дослідженні процесу розсіювання шкідливих викидів у атмосфері.



**Рис. 3. Форми кривих нормального розподілу Гауса для різних значень  $\mu$  і  $\sigma$**

Вважається, що рівняння для розсіювання шкідливих викидів має вигляд подвійного розподілу Гауса відносно двох координат ( $y$  і  $z$ ), визначається простим перемноженням двох розподілів Гауса за кожною з координатних осей [4], а саме:

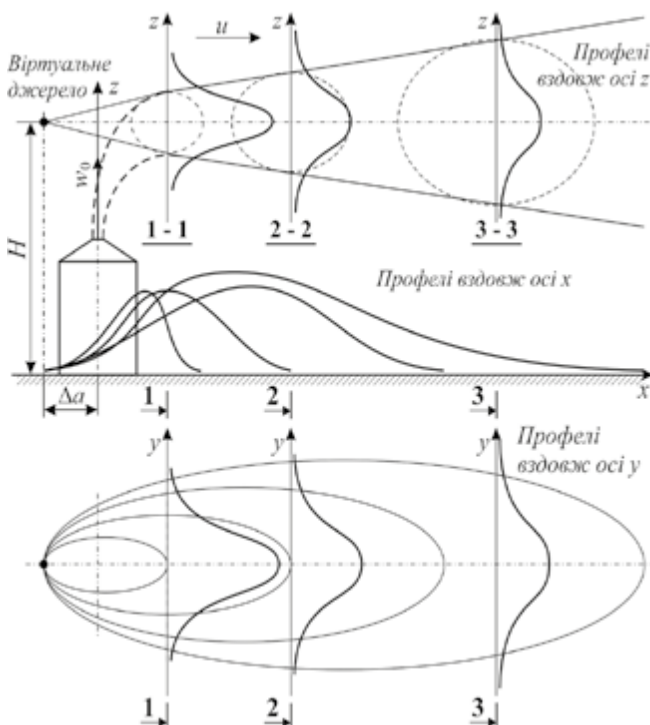
$$f(y, z) = \frac{1}{2\pi\sigma_y\sigma_z} \text{Exp} \left( -\frac{(y-\mu_y)^2}{2\sigma_y^2} - \frac{(z-\mu_z)^2}{2\sigma_z^2} \right), \quad (3)$$

де  $\sigma_y$  і  $\sigma_z$  – горизонтальне і вертикальне стандартне відхилення;

$\mu_y$  і  $\mu_z$  – горизонтальне і вертикальне місцезнаходження максимального значення функції  $f(y, z)$  на осях  $y$  і  $z$ .

Основне рівняння розсіювання шкідливих викидів у атмосфері. Усі моделі оцінювання процесу розсіювання шкідливих викидів у атмосфері зводяться до однієї і тієї ж функції розподілу концентрації забруднювача, тобто розподілу Гауса. Згідно з цим розподілом, дрібнодисперсні тверді частинки і газові домішки поширюються в атмосфері за законом нормального розподілу [26, 33].

З рис. 4 видно, що струмінь парогазової суміші поширюється уздовж (паралельно) осі  $x$ . На цьому рисунку овальні фігури  $a$ ,  $b$  і  $c$  є перерізами дещо спрощеного струменя дрібних частинок і парогазових домішок. Профілі концентрацій забруднювачів у деяких точках атмосфери (1-1, 2-2 і 3-3) підпадають закону нормального розподілу.



**Рис. 4.** Профілі концентрацій забруднювачів (КЗ) у атмосфері уздовж центральної лінії  $x$  і уздовж осі  $z$ :  $a$ ,  $b$  і  $c$  – спрощені перерізи струменя димового факела

Основне рівняння розсіювання шкідливих викидів у атмосфері [4], згідно з розподілом Гауса, має такий вигляд:

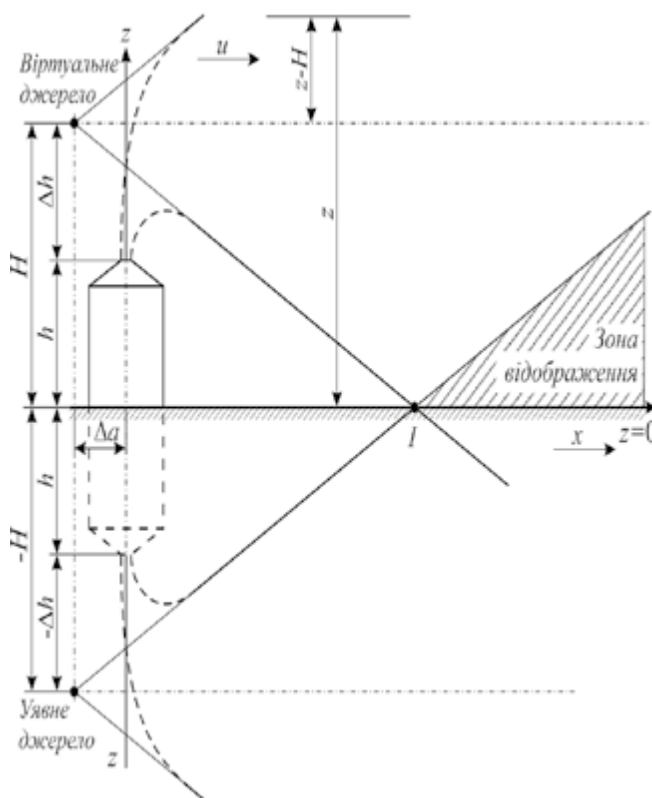
$$C(x, y, z, H) = \frac{M}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \cdot \text{Exp}\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \cdot \text{Exp}\left(-\frac{(y-H)^2}{2\sigma_y^2} - \frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right), \quad (4)$$

де  $C$  – концентрація забруднювачів у деякій точці атмосфери з координатами  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , г/м;  
 $M$  – потужність викидання парогазової суміші, г/с;  
 $H$  – висота віртуального джерела, м;  
 $u$  – середня швидкість вітру, м/с.

При розгляді струменя дрібних частинок і парогазових домішок прийняті такі допущення [8]:

- 1) розсіювання струменя шкідливих викидів у горизонтальній і вертикальній площинах описується розподілом Гауса із стандартними відхиленнями розподілу концентрацій забруднювачів  $\sigma_y$  і  $\sigma_z$  по осях  $y$  і  $z$  відповідно;
- 2) середня швидкість вітру  $u$ , що діє на струмінь суміші, є постійною в усьому шарі його поширення, при цьому напрямок вітру не змінюється;
- 3) потужність викидання парогазової суміші у атмосферу постійна;
- 4) наявне відображення струменя шкідливих викидів від поверхні землі, тобто немає осадження або взаємодії струменя з рельєфом поверхні.

Відображення (інверсію) струменя шкідливих викидів від поверхні землі [23] показано на рис. 5. З цього рисунка видно, що відображення на деякій відстані  $x$  від точкового джерела математично еквівалентно наявності дзеркального відображення джерела з ординатою  $-H$ . Затемнена площа після точки  $I$  на діаграмі показує область атмосфери, в якій концентрація забруднювачів збільшується понад те значення, яке відповідає віртуальному джерелу висотою  $H$ .



**Рис. 5.** Схема відображення струменя шкідливих викидів від поверхні землі

Таке збільшення концентрації забруднювачів визначається математично лінійною суперпозицією двох кривих Гауса [20], однієї з центром на висоті  $H$ , а іншої – на висоті  $-H$ . Це еквівалентно об'єднанню двох рівнянь: одне з них містить член  $(z+H)$ , інше – член  $(z-H)$ . Внаслідок цього рівняння для визначення концентрації забруднювачів для віртуального джерела з урахуванням відображення матиме вигляд, що відповідає формулі (4).

**Окремі випадки розрахунку приземних концентрацій забруднювачів.** Для розрахунку концентрації забруднювачів біля поверхні землі [4] (координата  $z = 0$ ) рівняння (4) набуває такого вигляду:

$$C(x, y, 0, H) = \frac{M}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \cdot \text{Exp}\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \cdot \text{Exp}\left(-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right) \quad (5)$$

Для розрахунку концентрації забруднювачів біля поверхні землі, розміщеному уздовж осьової лінії струменя (координати  $z = 0, y = 0$ ), рівняння (4) набуває такого вигляду:

$$C(x, 0, 0, H) = \frac{M}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \cdot \text{Exp}\left(-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right) \quad (6)$$

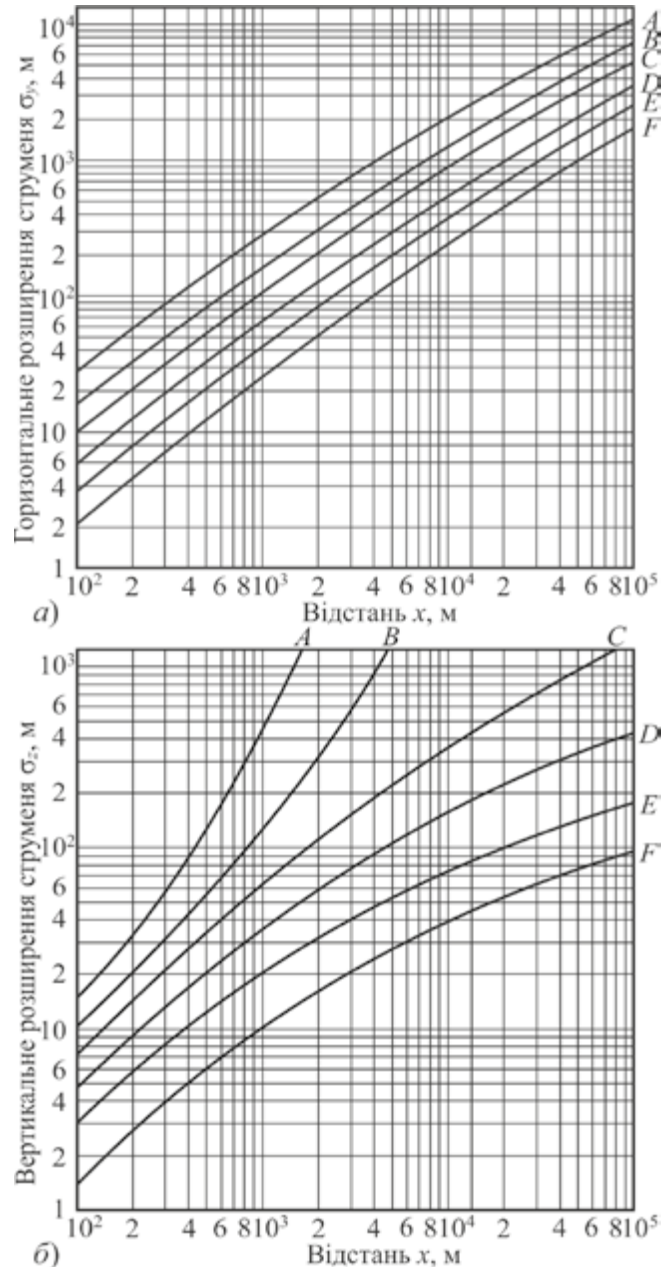
Для розрахунку концентрації забруднювачів біля поверхні землі, розміщеному уздовж осьової лінії струменя, для наземного джерела (координати  $z = 0, y = 0, H = 0$ ) рівняння (4) набуває такого вигляду:

$$C(x, 0, 0, 0) = \frac{M}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \quad (7)$$

**Практичне використання рівнянь, які відповідають розподілу Гауса.** Для практичного використання наведених вище рівнянь (4)-(7), окрім фізичних даних (координат, потужності викидання парогазової суміші, ефективної висоти віртуального джерела), потрібно також знати величини  $u, \sigma_y$  і  $\sigma_z$  по осях  $y$  і  $z$  відповідно. Зазвичай використовують значення швидкості руху парогазової суміші  $u$ , усереднене вздовж всього струменя. Через значні труднощі її визначення приймають середню швидкість вітру на рівні отвору (спускного клапана) в резервуарі.

Коефіцієнт бічної (поперечної) дифузії  $\sigma_y$  характеризує горизонтальне розширення струменя в напрямі, перпендикулярному напрямку його руху [31]. Коефіцієнт вертикальної дифузії  $\sigma_z$  характеризує розширення струменя по вертикалі, тобто осі  $z$ . Значення  $\sigma_y$  і  $\sigma_z$  (горизонтальне і вертикальне стандартне відхилення) залежать від місцезнаходження точки  $x$  відносно напрямку вітру від точкового джерела і від умов стійкості атмосфери. На практиці для значення  $\sigma_y$  і  $\sigma_z$  визначають за діаграмами (рис. 6; а, б), які свого часу було отримано експериментально.

На рис. 6 позначення  $A, B, C, D, E, F$  вказують на різні класи стійкості атмосфери. Наприклад,  $A$  – відповідає найбільшій нестійкості (ясне небо, висота сонця над горизонтом більш  $60^\circ$ , типовий літній сонячний день після обіду, дуже конвективна атмосфера), водночас як  $F$  – відповідає найбільшій стійкості. При оцінюванні процесу розсіювання шкідливих викидів зазвичай вибирають такий клас стійкості атмосфери, тобто типовий для даного району, який дає якнайгірші характеристики з погляду забруднення атмосфери.



**Рис. 6.** Стандартне відхилення в горизонтальному  $\sigma_y$  (а) та вертикальному  $\sigma_z$  (б) напрямках

#### 4. Моделі розсіювання шкідливих викидів у навколишньому середовищі

Моделі розсіювання шкідливих викидів у навколишньому середовищі є інструментом для кількісного оцінювання небезпечних чинників техногенного впливу й навантажень як на людину, так і на саме навколишнє середовище [9, 33]. Моделювання процесів поширення тих або інших субстанцій у різних середовищах розглядали багато науковців у значній кількості фундаментальних робіт [8]. Питання, пов'язані із закономірностями турбулентної дифузії шкідливих викидів у атмосфері, відображено у працях вітчизняних і зарубіжних учених [3]. На сьогодні розроблено достатньо велику кількість математичних моделей, які можуть використовуватися для проведення прогностичних розрахунків [17, 24, 26 та ін.].

Моделі атмосферної дифузії класифікують за багатьма ознаками [13]. З урахуванням масштабу турбулентних рухів повітряних мас їх поділяють на:

- моделі локального масштабу, що забезпечують найбільшу точність оцінок на відстанях до 10 км;
- мезомасштабні моделі, які рекомендується використовувати для відстаней від 10 до 200 км;
- моделі регіонального масштабу, що прийнято використовувати для відстаней від 200 до 1000 км;
- моделі глобального масштабу, що використовуються при відстанях понад 1000 км.

Залежно від характеру джерела аварійних викидів, моделі розсіювання шкідливих викидів поділяють на моделі “клуби” диму, що ґрунтуються на припущенні про миттєво діюче джерело забруднення, і моделі “факела” диму, в яких розглядається постійно діюче джерело викидів, точніше кажучи, джерело зі скінченним часом впливу [27].

Існує класифікація моделей за підходом до опису турбулентної дифузії, що використовується при їх розробленні. За цією ознакою виділяються статистичні, напівемпіричні й комбіновані моделі [24]. У основу моделей першого виду покладено припущення про те, що процес поширення домішки в атмосфері на всіх напрямках має статистичні характеристики стану систем дифундуючих частинок. При статистичному підході приймається закон розподілу Гауса дифундуючої домішки вздовж осей координат.

У загальному випадку статистична модель для миттєвого точкового джерела має такий вигляд [4]:

$$C(x, y, z, t) = \frac{Q \cdot f_p f_o f_s}{(2\pi)^{3/2} u \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \cdot \text{Exp} \left( -\frac{(x-ut)^2}{2\sigma_x^2} - \frac{(y-vt)^2}{2\sigma_y^2} - \frac{(z-wt)^2}{2\sigma_z^2} \right), \quad (8)$$

де  $C(x, y, z, t)$  – концентрація забруднювачів як функція просторових координат і часу;

$Q$  – кількість викинутої речовини;

$u, v, w$  – середні значення швидкостей вітру за напрямками  $x, y, z$ ;

$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$  – дисперсії домішки за напрямками  $x, y, z$ , вибираються залежно від класу стійкості атмосфери;

$f_p, f_o, f_s$  – поправки на збільшення концентрації забруднювачів за рахунок радіоактивного розпаду або розкладання речовини, його сухого осадження й вимивання.

Відповідно до наведеної моделі процес перенесення “клуби” диму розглядається в рухомій системі координат.

Статистична модель “факела” диму [8], придатна для виконання розрахунків на відстані до 10-12 км, має такий вигляд:

$$C(x, y, z, H) = \frac{V_0 \cdot f_p f_o f_s}{2\pi u \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \text{Exp} \left( -\frac{y^2}{2\sigma_y^2} \right) \cdot \text{Exp} \left( -\frac{(x-ut)^2}{2\sigma_x^2} - \frac{(y-vt)^2}{2\sigma_y^2} - \frac{(z-wt)^2}{2\sigma_z^2} \right), \quad (9)$$

де  $V_0$  – швидкість викидання парогазової суміші з точкового постійно діючого джерела;

$H$  – ефективна висота віртуального джерела, що визначається з урахуванням підйому факела за рахунок термічного і динамічного спливання струменя.

Решта величин мають попередні позначення. Модель розроблена в припущенні, що швидкість і напрям вітру не змінюються з віддаленням від джерела і зі зміною висоти. При розрахунках для великих відстаней вона дає занижені оцінки. Детальний опис моделі міститься в роботі [23].

Комплексна модель атмосферної дифузії враховує наявність рельєфу поверхні, що зумовлює певні відмінності в характері турбулентної дифузії в горизонтальних і вертикальному напрямках [15]. У моделі береться до уваги, що розміри вертикальних пульсацій обмежуються рельєфом поверхні, унаслідок чого можна не враховувати зростання масштабу вихорів у міру віддалення від точкового джерела. У зв'язку з цим модель в частині, що стосується поширення домішки у вертикальному напрямку, будується як напівемпірична, горизонтальний же розподіл домішки описується на основі статистичних законів. Співвідношення, що відображає ці допущення, має такий вигляд:

$$C(x, y, z) = \frac{S(x, z)}{\sqrt{2\pi}\sigma_y} \cdot \text{Exp} \left( -\frac{y^2}{2\sigma_y^2} \right), \quad (10)$$

де  $S(x, y)$  – деяка функція, що описує закономірності зміни кількості шкідливих викидів, якщо умовно припустити, що всі вони зосереджені у вертикальній площині  $x, y$ . Конкретний вираз для функції  $S(x, y)$  знаходиться шляхом розв'язання рівняння турбулентної дифузії стосовно умов викиду і розсіювання шкідливих викидів.

Напівемпірична модель для джерела зі скінченним часом впливу [1, ст. 66], що враховує профіль вітру по висоті і зміну коефіцієнта турбулентної дифузії зі зміною висоти, виражається такою формулою:

$$C(x, y, z, H) = \frac{V_0 (zH)^{1-m} z_1^m}{2(2+n-m)k_1 \sqrt{\pi k_0 x^3}} \cdot \text{Exp} \left( -\frac{y^2}{4k_1^2 x} - \frac{uz_1^{m-n} (z^{2+n-m} + H^{2+n-m})^2}{k_1 (2+n-m)x} \right) \cdot J \left( \frac{1-m}{2+n-m} \right) \left( \frac{2uz_1^{m-n} (zH)^{\frac{2+n-m}{2}}}{(2+n-m)^2 k_1 x} \right), \quad (11)$$

де  $k_1$  – вертикальна складова коефіцієнта турбулентної дифузії на висоті 1 м;

$k_0$  – горизонтальна складова коефіцієнта турбулентної дифузії;

$J()$  – функція Бесселя від уявного аргумента;

$n, m$  – безрозмірні параметри, які визначаються з формул вертикальних профілів швидкості вітру ( $U_z$ ) і вертикальної складової коефіцієнта дифузії ( $K_z$ ), а саме:



$$U_z = U_1 \left( \frac{z}{z_1} \right)^n, K_z = K_1 \left( \frac{z}{z_1} \right)^m. \quad (12)$$

Решта величин мають попередні позначення. Наприклад, параметр  $n$  можна визначити за такою формулою:

$$n = \ln \left( \frac{U_z}{U_1} \right) / \ln \left( \frac{z}{z_1} \right). \quad (13)$$

Моделі, що описують розсіювання шкідливих викидів у атмосфері [27], поділяють також за методом розв'язання основного рівняння перенесення й дифузії домішки, що використовується при їх розробленні. У загальному випадку модель має такий вигляд:

$$\frac{dC}{dt} = \operatorname{div}(\bar{K} \cdot \operatorname{grad} C) - \operatorname{grad} C \bar{V} + Q, \quad (14)$$

де  $\bar{K} = |k_x \ k_y \ k_z|$  – вектор коефіцієнтів турбулентної дифузії;

$\bar{V} = |v_x \ v_y \ v_z|$  – вектор поля швидкостей в повітряному середовищі;

$Q$  – кількість викинутої речовини. Решта величин має попередні позначення.

За вказаною вище ознакою виділяють такі моделі: модель типу “ящика”; скінченно-різницевої моделі; статистичні регресійні моделі; моделі, розроблені за методом “Монте-Карло”. Оскільки детальний опис цих моделей наведено у роботі [16, 24], тому тут обмежимося лише деякими коментарями стосовно їх суті та можливостей використання.

Суть моделей типу “ящик” полягає в тому, що атмосфера поділяється на ряд об'ємів або ящиків, для кожного з яких складається рівняння матеріального балансу з урахуванням джерел розсіювання шкідливих викидів, витоків і перенесення цих викидів з одного ящика в інший. Так звані багато-ящикові моделі є скінченно-різницевим аналогом наведеного вище рівняння перенесення й дифузії [14, 21].

Скінченно-різницевої моделі за своєю суттю подібні до моделей типу “ящик”, тобто ґрунтуються на числовому розв'язанні рівняння (14) з тими або іншими спрощеннями та допущеннями. При цьому атмосфера апроксимується набором тривимірних розрахункових осередків. Схема апроксимації може бути феменологічною і скінченно-різницевою, характерною для рівнянь параболічного типу.

Статистичні регресійні моделі будують на основі статистичних даних про забруднення й використовують для короткотермінового прогнозу розсіювання шкідливих викидів у навколишньому середовищі.

## 5. Прогнозування небезпек на сховищах нафтопродуктів і захист від їх прояву

Дослідження причин виникнення небезпек і катастроф на сховищах нафтопродуктів, їх характеристик, особливостей впливу техногенного впливу на людину та навколишнє середовище сприяє розробленню ефективних заходів захисту, спрямованих на забезпечення нормального функціонування як людини, так і держави загалом [15, 25]. Управ-

ління безпекою та стійкістю їх функціонування залежить від глибини прогнозу соціально-економічних наслідків небезпечних ситуацій та своєчасного планування і виконання низки запобіжних і захисних заходів.

Система моделювання та прогнозування наслідків небезпечних і екстремальних ситуацій (наприклад, пожеж) на сховищах нафтопродуктів, які згодом можуть перерости в аварії та техногенні катастрофи, у сучасних умовах розвитку ІТ має містити [4]:

- оцінку ймовірності та аналіз причин виникнення екстремальних ситуацій;
- очікувану силу впливу (інтенсивність) та механізми розвитку небезпеки;
- характеристику і розміри ураження реципієнтів (працівників, структурних одиниць тощо);
- агресивність та глибину впливу чинників небезпеки (імовірність змін зовнішнього середовища, тривалість періодів прояву негативних наслідків, багатоступеневість такого прояву тощо);
- періодичність виникнення небезпечних та екстремальних ситуацій та їх динаміку;
- визначення величини збитків у випадку реалізації небезпечних і екстремальних ситуацій.

Оцінювання потенційних збитків потрібно проводити на стадіях передпроектних і науково-дослідних розробок системи прогнозування наслідків небезпечних і екстремальних ситуацій, а також структури організації її безпечного функціонування при виборі пріоритетних заходів захисту [33].

Вибираючи варіант найбільш ефективних запобіжних заходів, потрібно враховувати суму інвестицій та величину збитків, яких вдасться уникнути внаслідок їх реалізації (за відсутності можливості повного захисту). Запобіжні та захисні заходи, а також засоби забезпечення безпеки сховищ нафтопродуктів спрямовуються на [19]:

- відвернення чи ліквідацію небезпеки шляхом усунення джерела її виникнення або віддалення його в часі, просторі тощо;
- захист організації безпечного функціонування сховищ нафтопродуктів від потенційних небезпек шляхом застосування заходів захисту, а також страхування при потенційних небезпеках;
- використання системи запобіжних засобів, спрямованих на підвищення безпеки функціонування сховищ нафтопродуктів;
- розроблення відповідної нормативно-правової бази, спрямованої на формування концепції безпеки функціонування сховищ нафтопродуктів;
- проведення суворого нагляду та контролю за виконанням відповідних законів, постанов, правил, положень, які регламентують вимоги щодо забезпечення безпеки функціонування сховищ нафтопродуктів;
- розроблення системи запобігання надзвичайним ситуаціям і реагування на них, планів діяльності організації системи захисту в кризових ситуаціях;
- забезпечення умов для підтримання на належному рівні внутрішньої безпеки організації системи захисту за всіма напрямками.

Проблема захисту сховищ нафтопродуктів від небезпечних процесів у зовнішньому середовищі, як правило, зводиться до проведення локальних заходів щодо захисту організації системи захисту. Однак нині ефективних результатів можна досягти тільки за умови проведення комплексної системи запобіжних і захисних заходів, які спрямовані на охорону усієї сукупності об'єктів, що складають середовище життєдіяльності людини.

**Висновки.** Виявлено основні чинники техногенного впливу, які виникають під час аварій і катастроф на сховищах нафтопродуктів. Встановлено, що під час моделювання процесів викидання й витікання шкідливих викидів з ємностей чи трубопроводів у аварійних умовах використовують відомі з гідроаеромеханіки співвідношення.

З'ясування особливостей розсіювання шкідливих викидів у атмосфері дало змогу встановити поняття атмосферної турбулентності, визначити розподіл концентрації забруднювачів у атмосфері під факелом точкового джерела, а також визначити висоту початкового підйому димового факела.

З'ясування особливостей застосування нормально-го розподілу Гауса для побудови моделей розсіювання шкідливих викидів у атмосфері дало змогу встановити загальні його характеристики, навести основне рівняння розсіювання шкідливих викидів у атмосфері, виявити окремі випадки розрахунку приземних концентрацій забруднювачів, а також розробити рекомендації щодо практичного використання рівнянь, які відповідають нормальному розподілу Гауса.

Наведені моделі розсіювання шкідливих викидів у навіколишньому середовищі дають змогу розробити інструменти для кількісного оцінювання небезпечних чинників техногенного впливу і навантажень на людину та довкілля.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. **Акимов В.А.** Катастрофы и безопасность / В.А. Акимов, В.А. Владимиров, В.И. Измалков; МЧС России. – М.: Деловой экспресс, 2006. – 392 с.
2. **Акимов В.А.** Природные и техногенные чрезвычайные ситуации: опасности, угрозы, риски / В.А. Акимов, В.Д. Новиков, Н.Н. Радаев. – М.: Деловой экспресс, 2001. – 368 с.
3. **Арнольд В.И.** Теория катастроф / Арнольд В.И. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 128 с.
4. **Бекетов В.Е.** Рассеивание загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и методики расчета приземных концентраций : конспект лекций / В.Е. Бекетов, Г.П. Евтухова, Ю.Л. Коваленко; Харьк. нац. акад. город. хоз-ва. – Харьков: Изд-во ХНАГХ, 2011. – 74 с.
5. **Владимиров В.А.** Катастрофы и экология / В.А. Владимиров, В.И. Измалков. – М.: Экология, 2000. – 368 с.
6. **Воробьев Ю.Л.** Основы формирования и реализации государственной политики в области сни-

жения рисков чрезвычайных ситуаций / Ю.Л. Воробьев. – М.: Деловой экспресс, 2000. – 368 с.

7. **Джигирей В.С.** Екологія та охорона навколишнього природного середовища: навч. посібн. [для студ. вищ. навч. закл.]; 5-те вид., випр. і доп. / Джигирей В.С. – К.: Знання, 2007. – 422 с.

8. **Жабо В.В.** Охрана окружающей среды на ТЭС и АЭС / Жабо В.В. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 240 с.

9. **Закон України** “Про охорону атмосферного повітря”. Постанова Верховної Ради України від 16 жовтня 1992 р. / Із змінами, внесеними згідно із Законом № 1193-VII (1193-18) від 09.04.2014, ВВР, 2014, № 23, ст. 873. [Електронний ресурс]. – Доступний з <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2707-12>

10. **Зубик С.В.** Техноекотолія. Джерела забруднення і захист навколишнього середовища: навч. посібн. [для студ. вищ. навч. закл.] / С.В. Зубик. – Львів: Орієна-Нова, 2007. – 400 с.

11. **Измалков А.В.** Управление безопасностью социально-экономических систем и оценка его эффективности / А.В. Измалков. – М.: Спутник, 2003. – 368 с.

12. **Измалков В.И.** Безопасность и риск при техногенных воздействиях / В.И. Измалков, А.В. Измалков. – М.-СПб.: Изд-во СПбНИЦЭБ РАН, АГЗ МЧС, 1994. – 248 с.

13. **Клименко М.О.** Моніторинг довкілля: підручник / М.О. Клименко, А.М. Прищеп, Н.М. Вознюк. – К.: ВЦ “Академія”, 2006. – 360 с.

14. **Колесников А.А.** Синергетические методы управления сложными системами: теория системного синтеза / А.А. Колесников. – М.: КомКнига, 2006. – 240 с.

15. **Кочін І.В.** Охрана праці та безпека життєдіяльності населення при надзвичайних ситуаціях : навч. посібн. [для студ. вищ. навч. закл.] / І.В. Кочін, Г.О. Черняков, П.І. Сидоренко, О.М. Савчук, В.Є. Букін, В.М. Скороход; за ред. проф. І.В. Кочіна. – К.: Здоров'я, 2005. – 432 с.

16. **Лесков Л.В.** Футиро-синергетика. Универсальная теория систем / Л.В. Лесков. – М.: Экономика, 2005. – 170 с.

17. **Луканин В.Н.** Промышленно-транспортная экология : учебник [для студ. высш. учеб. завед.] / В.Н. Луканин, Ю.В. Трофименко. – М.: Высш. шк., 2003. – 273 с.

18. **Масштабна пожежа і вибух на нафтобазі під Васильковом.** хронологія подій. [Електронний ресурс]. – Доступний з <http://tsn.ua/kyiv/masshtabna-rozhezha-i-vibuh-na-naftobazi-pid-kiyevom-hronologiya-podiy-435252.html>

19. **Об'єкти комунального господарства.** Газо-, нафто- та продуктопроводи України. [Електронний ресурс]. – Доступний з [http://studopedia.su/916285\\_obiekti-komunalnogo-gospodarstva.html](http://studopedia.su/916285_obiekti-komunalnogo-gospodarstva.html)

20. **Охрана окружающей природной среды** / под ред. Г.В. Дуганова. – К.: Изд-во “Вища шк.”, 1991. – 320 с.

21. **Пригожин И.** Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой : пер. с англ. / Пригожин И., Стенгерс И. – М.: КомКнига, 2005. – 296 с.

**22. Ратушняк Г.С.** Засоби очищення газових викидів: навч. посібн. [для студ. вищ. навч. закл.] / Ратушняк Г.С., Лялюк О.Г. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 207 с.

**23. Рихтер Л.А.** Охрана водного и воздушного бассейнов от выбросов ТЭС / Л.А. Рихтер, Э.П. Волков, В.Н. Покровский. – М.: Энергоиздат, 1981. – 295 с.

**24. Родионов А.И.** Техника защиты окружающей среды / А.И. Родионов, В.Н. Клушин, Н.С. Торчешников. – М.: Химия, 1989. – 512 с.

**25. Саломатов В.В.** Природоохранные технологии на ТЭС и АЭС: учебн. пособ. [для студ. высш. учеб. завед.] / Саломатов В.В. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2000. – 172 с.

**26. Сафронов В.С.** Отраслевое руководство по анализу и управлению риском / В.С. Сафронов, Г.Э. Одишария, А.А. Швыряев. – М.: Газпром, 1996. – 362 с.

**27. Северин Л.І.** Природоохоронні технології (захист атмосфери) : навч. посібн. – Ч. I / Л.І. Северин, В.Г. Петрук, І.І. Безвозюк, І.В. Васильківський. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 357 с.

**28. Скоробогатий Я.П.** Основи екології: навколишнє середовище і техногенний вплив / Я.П. Скоробогатий, В.В. Ощиповський, В.О. Василечко, С.Л. Кусковець. – Львів: Новий Світ-2000, 2008. – 222 с.

**29. Тищенко Н.Ф.** Охрана атмосферного воздуха: справочник / Тищенко Н.Ф. – М.: Химия, 1991. – 362 с.

**30. Федоренко О.І.** Основи екології: підручник [для студ. вищ. навч. закл.] / О.І. Федоренко, О.І. Бондар, А.В. Кудін. – К.: Знання, 2006. – 543 с.

**31. Хинце И.О.** Турбулентность / Хинце И.О. – М.: Госфизматиздат, 1963. – 368 с.

**32. Черняков Г.О.** Повені і діяльність служби медицини катастроф: навч. посібн. [для студ. вищ. навч. закл.] / Г.О. Черняков, І.В. Кочін, П.І. Сидоренко, С.О. Бондарь; за ред. д-ра мед. наук, проф. І.В. Кочіна. – Кіровоград: Центрально-Українське вид-во, 2003. – 200 с.

**33. Защита атмосферы** от промышленных загрязнений: справ. изд. – В 2-х частях : пер. с англ. / под ред. С. Калверта, Т. Инглунда. – М.: Металлургия, 1988. – 706 с.

*Ю.И. Грыцюк, М.Ю. Грыцюк*

### МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ТЕХНОГЕННЫХ ФАКТОРОВ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ ПОЖАРОВ В УБЕЖИЩАХ НЕФТЕПРОДУКТОВ

При возникновении пожаров на хранилищах нефтепродуктов, которые впоследствии могут перерасти в техногенные аварии или катастрофы, возникает потребность моделирования процессов формирования опасных факторов техногенного воздействия на человека и окружающую среду. Осу-

ществляется такое моделирование на основании анализа характера самого пожара, динамики и поражающего воздействия физических полей, образующихся в результате неконтролируемого их течения, путей распространения радиоактивных веществ, опасных химических и биологических веществ, а также формирование дозовых нагрузок на человека и другие популяции и экосистемы.

Оценка опасных факторов техногенного воздействия при моделировании учитывает такие физические процессы: формирование, распространение и влияние ударных волн и поля разлета осколков при взрывах, поля тепловых потоков от пожаров, а также электромагнитные и звуковые поля, образующиеся в результате неконтролируемых взрывов; формирование, распространение и влияние аварийных выбросов в атмосферу, а также сливов и сброс различных радиоактивных, опасных химических и биологических веществ в окружающую среду.

Чрезвычайные ситуации техногенного происхождения угрожают человеку, экономике и окружающей среде, то есть способны создать угрозу человеку вследствие вероятного взрыва, пожара, затопления или загрязнения (заражения) окружающей среды. В этом исследовании рассмотрены только процессы формирования, распространения и влияния на человека опасных веществ, которые выбрасываются в окружающую среду в результате возникновения пожаров или аварий на хранилищах нефтепродуктов.

Многие ученые считают, что интенсивность и дальность распространения поражающих факторов при возникновении пожаров на хранилищах нефтепродуктов зависят от вида самого пожара. При прогнозировании развития таких аварий, как правило, рассматриваются четыре категории пожаров, которые условно названы: пожарами разлива; пожарами с образованием огневых струй; пожарами-вспышками; пожарами с образованием огневого шара.

При прогнозировании процессов формирования, распространения и влияния аварийных выбросов в окружающую среду, образованных в результате пожара на хранилищах нефтепродуктов, сливов и сбросов различных опасных веществ радиоактивной, химической и биологической природы, а также при разработке соответствующих расчетных схем предполагается: моделирование процессов выброса и утечки различных опасных веществ из емкостей или трубопроводов в аварийных условиях; моделирование процессов распространения вредных выбросов из емкостей или трубопроводов в окружающей среде с учетом процессов их атмосферной и гидрологической дисперсии, миграции пищевыми цепями и переноса, обусловленного физико-механическими процессами; анализ, оценка и разработка расчетной схемы воздействия вредных выбросов на субъекты и объекты техногенного риска; моделирование процессов формирования дозовых нагрузок на человека и на другие популяции и экосистемы.

Приведены модели оценки техногенных факторов при возникновении пожаров на хранилищах

нефтепродуктов, учитывающие рассеивания вредных выбросов в атмосфере и окружающей среде с использованием нормального распределения Гаусса. Выявлены основные факторы техногенного воздействия, возникающие при авариях и катастрофах на хранилищах нефтепродуктов. Выяснены особенности рассеивания вредных выбросов в атмосфере, определено распределение концентрации загрязнителей в атмосфере под факелом точечного источника, а также высоту начального подъема дымового факела. Приведены модели рассеивания вредных выбросов в окружающей среде, являющиеся инструментами для количественной оценки опасных факторов техногенного воздействия и нагрузок на человека и окружающую среду.

**Ключевые слова:** пожары, аварии и катастрофы, пожары на хранилищах нефтепродуктов, рассеивания вредных выбросов в атмосфере, окружающая среда, факторы техногенного воздействия, распределение концентрации загрязнителей, факел точечного источника, модели количественной оценки техногенных факторов

*Yu. Gryciuk, M. Grytsyuk*

#### VALUATION MODELS OF ANTHROPOGENIC FACTORS DURING THE APPEARANCE FIRES IN THE STORAGE OF PETROLEUM PRODUCTS

In the event of fire in the storage of petroleum products, which can then develop into a man-made disaster or a catastrophe, there is need for simulation of the formation of dangerous factors of anthropogenic impact on humans and the environment. Implemented by a simulation based on the analysis of the nature of the fire, and the dynamics of the damaging effects of physical fields resulting from their uncontrolled flow pathways of radioactive substances, hazardous chemical and biological agents, as well as the formation of radiation exposure on human and other populations and ecosystems.

Evaluation of the impact of man-made hazards in the simulation takes into account such physical processes: formation, distribution and impact of shock waves and separation of fragments of the field in the explosions, heat flows from the fields of fire, as well as electromagnetic and acoustic field generated as a result of uncontrolled explosion; the formation, distribution and impact of accidental releases into the atmosphere, as well as discharging and dumping various radioactive, hazardous chemical and biological substances in the environment.

Emergencies technogenic origin are threatening the man, the economy and the environment, that is able to pose a threat to a person as a result of a possible explosion, fire, flooding or pollution (contamination) environment. In this study only examined the processes of formation, distribution and effects on human dangerous substances that are released into the environment as a result of fires or accidents at petroleum storage facilities.

Many scientists believe that the intensity and range of the spread of destructive factors in the event of fire in the storage of petroleum products depends on the type of fire. When forecasting the development of such accidents are usually considered four categories of fires that arbitrarily named: spill fires; fire with the formation of jets of fire; fire-outbreaks; fires to form a ball of fire.

When predicting the formation processes, distribution and impact of accidental releases into the environment, formed as a result of the fire at the oil products storage, drains and discharge of various dangerous substances radioactive, chemical and biological nature, as well as the development of appropriate design schemes assumed: simulation ejection processes, and leakage of different hazardous substances from tanks or pipelines in emergency conditions; modeling of the spread of harmful emissions from tanks or pipelines in the environment, taking into account the processes of atmospheric and hydrological dispersion, migration and food chain transfer, due to physical and mechanical processes; analysis, assessment and development of a design scheme the impact of harmful emissions on the subjects and objects of technical risk; modeling of formation of radiation exposure on the human and other populations and ecosystems.

The models of assessment of anthropogenic factors in the event of fires in the storage of petroleum products, taking into account the dispersion of harmful emissions in the atmosphere and the environment with a normal Gaussian distribution. The main factors of anthropogenic impact arising from accidents and disasters in the storage of petroleum products. Clarify the features of the dispersion of harmful emissions into the atmosphere, determined the distribution of concentrations of pollutants in the atmosphere under the torch of a point source, as well as the height of the initial rise of the smoke plume. The models of dispersion of harmful emissions into the environment approx Rouge, which are tools for quantitative evaluation of hazards and the impact of anthropogenic pressures on people and the environment.

**Key words:** fires, accidents and disasters, fires at storage of petroleum products, the dispersion of harmful emissions into the atmosphere, the environment, the impact of anthropogenic factors, the distribution of the concentration of pollutants, the torch of the point source model of quantitative assessment of anthropogenic factors