

УДК [628.512+504.37]:661.53

С.В. Мельник, канд. техн. наук, доц.,

О.М. Цабієв, канд. техн. наук, проф.,

І.О. Бондар, магістр

Одеський національний політехнічний університет, пр. Шевченка, 1, 65044 Одеса, Україна; e-mail: innabondar7293@gmail.com

ПРОГНОЗУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО РИЗИКУ ДЛЯ МІСТА ОДЕСИ У РАЗІ АВАРІЙНОГО ВИКИДУ АМІАКУ З ПРИПОРТОВОГО ЗАВОДУ

С.В. Мельник, О.М. Цабієв, І.О. Бондар. Прогнозування екологічного ризику для міста Одеси у разі аварійного викиду аміаку з Припортового заводу. В роботі апробується методика прогнозування екологічного ризику для жителів міста Одеси в результаті аварії на Припортовому заводі. Ризик аварійного викиду аміаку визначається як добуток ймовірності настання аварії на ймовірність ураження людей. Одним із кроків під час кількісної оцінки ризику є врахування метеорологічних умов, а саме напрямку вітру. В процесі аналізу рози вітрів починаючи з 1899 року помічено збільшення небезпечного для міста напрямку вітру. Концентрація аміаку на території міста розрахована за методикою «Токси 2.2», в основі якої лежить гаусівська модель розсіювання забруднюючих речовин в атмосфері. Величину ризику оцінено за двома методиками: за методикою US EPA і комплексною гігієнічною методикою, в основі якої величина пов'язана з ризиком за законом нормального ймовірнісного розподілу. Результати оцінки ризику за двома методиками показали незначний (допустимий) ризик для жителів Одеси у разі викиду аміаку в атмосферу.

Ключові слова: аварія, аміак, концентрація, розсіювання, дисперсія, допустимий ризик.

S.V. Melnik, O.M. Tsiabiev, I.O. Bodnar. The environmental risk prediction for Odessa city in the case of ammonia emissions from Odessa Port Plant. In this paper, we consider the environmental risk prediction for Odessa's citizens in the case of ammonia emissions from Odessa Port Plant. The potential risk of ammonia emission can be calculated by multiplying the probability of an accident and the probability of human health damage. One of the steps in the quantitative risk assessment is the analysis of weather conditions such as wind direction. From 1899 wind-rose analysis shows an increasing the frequency of winds direction which is dangerous for the city. The ammonia concentration in the city can be calculated by the TOXI ver.2.2 method, based on the Gaussian dispersion model for pollutants in the atmosphere. The magnitude of risk was assessed by two methods: the US EPA method, and Integrated Hygienic Method, based on normal probability distribution. The results of the risk assessment for the two methods showed an acceptable risk for Odessa's citizens in the case of ammonia emissions into the atmosphere.

Keywords: accident, ammonia, concentration, scattering, dispersion, acceptable risk.

Вступ. Урахування екологічних ризиків стає в останні роки одним з основоположних з огляду на те, що несприятливі екологічні чинники тягнуть за собою не тільки погіршення здоров'я населення, а й додаткові фінансові витрати на усунення негативного впливу.

У зв'язку з тим, що кожного року кількість аварій на хімічних підприємствах усього світу збільшується — зростає і величина ризику для людей. Причинами збільшення кількості аварій є наднормативна експлуатація обладнання, його корозія і несправність контрольно-вимірювальної апаратури. Останніми масштабними аваріями є вибух на хімічному підприємстві у Великобританії (м. Біллінгем, 2006 р.), вибухи в хімічних цехах в КНР (провінція Шансі та м. Цанчжоу, 2007 р.), вибух в Ізраїлі (промислова зона Рамат-Ховав, 2007 р.), аварія в США (штат Арканзас, 2008 р.), вибух в Росії (м. Будьонівськ, 2008 р.), аварія у Франції (Департамент Гар, 2011 р.), вибух на хімічному заводі в Південній Кореї (2012 р.) та ін. Слід також звернути особливу увагу на аварію в Техасі, причиною якої стала пожежа, що почалась в резервуарі з безводним аміаком — як наслідок, загинуло близько 60 людей, ще 200 чоловік було поранено.

До складу Одеського припортового заводу (ОПЗ) входить найбільше сховище аміаку в Європі ємкістю близько 120 тис. т. Для порівняння на вищезгаданому підприємстві в Техасі було

DOI 10.15276/opu.2.46.2015.29

© 2015 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

близько 24 т аміаку. Більше того, вже відомі випадки аварійних ситуацій на ОПЗ, в результаті яких відбувався викид аміаку в навколишнє середовище (наприклад, у 2013 р. стався витік 200 літрів аміаку).

Крім того прогнозування ризику потребує уточнення метеорологічних умов розповсюдження забруднення при сучасних змінах клімату.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогодні серед існуючих методик прогнозування екологічного ризику немає єдиного підходу до надання прогнозної оцінки наслідкам техногенних аварій. Міністерством охорони здоров'я України затверджено методику «Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря» [1]. Методика призначена для здійснення оцінки рівня канцерогенного та неканцерогенного ризиків для здоров'я населення від існуючого забруднення атмосферного повітря на території населеного пункту, яке сформоване за рахунок промислових викидів, життєдіяльності населення та процесів трансформації. Методику розроблено на основі американського підходу до оцінювання екологічного ризику US EPA.

На відміну від вищезгаданої методики, американська система MEPAS [2], що розроблена Pacific Northwest National Laboratory, — система комплексної оцінки забруднення навколишнього середовища, зокрема застосовується при обґрунтуванні і прийнятті управлінських рішень. Розрахунки інтегрального ризику для здоров'я людей у системі MEPAS базуються на фізично зумовлених фізико-хімічних моделях джерел викиду забруднень у навколишнє природне середовище, шляхів їх переносу і впливу забруднення на людину чи популяцію. Методи кількісного аналізу ризику характеризуються розрахунком показників ризику. Проведення аналізу ризику за допомогою MEPAS вимагає великого обсягу інформації щодо аварійності, надійності обладнання, врахування особливостей навколишньої місцевості, метеоумов, часу перебування людей на території і поблизу об'єкта, щільності населення та інших чинників. Практично єдиним способом використання системи MEPAS є виконання розрахунків на замовлення.

До найбільш відомих вітчизняних методик аналізу екологічної небезпеки й оцінки ризиків, які затверджені нормативно-правовими актами України, слід віднести: методику прогнозування наслідків вилу (викиду) небезпечних хімічних речовин при аваріях на промислових об'єктах і транспорті і методику оцінки збитків від надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру.

Методика прогнозування наслідків вилу (викиду) небезпечних хімічних речовин при аваріях на промислових об'єктах і транспорті [3] призначена для прогнозування масштабів забруднення при аваріях з небезпечними хімічними речовинами (НХР) на промислових об'єктах, автомобільному, річковому, залізничному і трубопровідному транспорті. Методика застосовується тільки для НХР, які зберігаються у газоподібному або рідкому стані та які у момент вилу, викиду переходять у газоподібний стан і створюють первинну або/і вторинну хмару НХР. Зазначена методика передбачає проведення розрахунків тільки на висотах до 10 м над поверхнею землі (приземному шарі повітря). Методика подається у вигляді таблиць готових розрахованих параметрів зон забруднення, що дає змогу оперативно здійснювати прогнозування масштабів забруднення. Швидко прогнозування не дає точного значення екологічного ризику. У зв'язку з цим навіть побудовані для оперативного реагування зони можливого і фактичного хімічного забруднення не будуть достатньо повно відповідати дійсності.

Методика прогнозування зон токсичного зараження і наслідків аварій з викидом небезпечних речовин «Токси 2.2» [4] дає можливість визначити: тривалість викиду і кількість НХР, яка потрапила в атмосферу при різних сценаріях аварії; просторово-часове поле концентрації НХР в атмосфері; розміри зон хімічного забруднення, що відповідають різному ступеню ураження людей, зумовленого інгаляційною токсодозою, у тому числі і урахуванням часу накопичення токсодози. Методика дозволяє розглянути широкий спектр можливих аварійних ситуацій (часткове або повне руйнування устаткування, витікання газової, рідкої речовини або двофазного середовища) з урахуванням конструктивних особливостей конкретної установки, на якій відбулася аварія (наявність трубопроводів і емкостей, спрацювання відсічної арматури, зупинка компресорів або насосів). «Токси 2.2» дозволяє здійснювати прогнозування масштабів зон забруднення при руйнуванні хімічно

небезпечних об'єктів, при аваріях на технологічних ємкостях, при транспортуванні трубопровідним та ін. видами транспорту. Оскільки методика є доступною і дозволяє визначити просторово-часове поле концентрації НХР в атмосфері в результаті аварії, розрахунок концентрації аміаку на території Одеси після аварії проведено за допомогою «Токси 2.2».

Метою дослідження є аналіз методик і прогностична оцінка екологічного ризику в разі аварійного викиду аміаку з Одеського припортового заводу в атмосферу міста Одеси. Об'єктом дослідження є процес розповсюдження аміаку в атмосферу, а предмет дослідження — екологічний ризик, який виникає внаслідок аварії на ОПЗ.

Для досягнення мети розв'язуються такі завдання:

- уточнення метеорологічних умов розповсюдження забруднення,
- вибір методики для розрахунку ризику у разі аварійної ситуації,
- розрахунок ризику у разі аварійної ситуації,
- висновки і рекомендації щодо покращення прогнозування екологічного ризику.

Методологічну основу проведених досліджень становили: системний аналіз, математичне моделювання, теорія ймовірності, методи математичної статистики. Для оцінки аварійного ризику змодельовано аварійну ситуацію з викидом газоподібного аміаку в атмосферу, проведено оцінку індивідуального ризику людей, які потрапили в зону розповсюдження хмари.

Викладення основного матеріалу. В [5] показано, що у разі точкового джерела небезпеки можна розрахувати величину екологічного ризику R від аварійного викиду як

$$R = P \cdot N,$$

де P — прогнозована частота аварійного процесу за визначений інтервал часу (зазвичай один рік);

N — характеристика рівня небезпеки, породжувана техногенним об'єктом, за умови, що аварійна ситуація розвивалася за визначеним сценарієм.

Підприємства хімічної галузі характеризуються частотою виникнення аварій від 10^{-9} до 10^{-4} [6, 7]. Для розриву трубопроводу ймовірність аварій в інтервалі від $2 \cdot 10^{-8}$ до $4 \cdot 10^{-4}$, повного руйнування цистерни — від $1,5 \cdot 10^{-9}$ до $2,3 \cdot 10^{-7}$ [6]. Для врахування всіх чинників (знос обладнання, його застарілість та ін.) взято максимальне значення ймовірності настання аварійної ситуації на об'єкті ($P = 10^{-4}$).

Друга складова ризику по суті є ймовірність ураження об'єктів природного середовища. В якості об'єкта природного середовища вибрано людину — найбільш уразливий елемент природного середовища. При визначенні ймовірності ураження людей N враховуються такі чинники [4]:

$$N = P_L \cdot P_W \cdot P_T,$$

де P_L — ймовірність знаходження людей на території під час аварійного викиду;

P_T — ймовірність токсикологічного ураження людей;

P_W — ймовірність напрямку вітру в бік Одеси.

Ймовірність знаходження людей на території центра міста під час аварійного викиду (P_L) залежить від часу доби і дня тижня. Також важливе значення має захищеність людей. Ймовірність ураження людей, які знаходяться в приміщенні менша, ніж людей, які перебувають на відкритій території. Оскільки незалежно від часу на території Одеси завжди знаходиться населення міста, то значення ймовірності знаходження людей на території під час аварійного викиду приймаємо за 1, тобто $P_L = 1$.

На рис. 1 представлено розміщення ОПЗ відносно центральної частини міста Одеси.

З мапи на рисунку 1 видно, що напрям на ОПЗ складає 57° і знаходиться між Північ-Східним (ПнС) і Схід-Північ-Східним (СПнС) напрямками вітру, але ближче до СПнС напрямку. Саме цей напрямок будемо вважати найбільш небезпечним.

Важливим етапом вивчення ризику забруднення атмосфери Одеси є урахування напрямку вітру. Напрямок вітру в сторону досліджуваного об'єкта значно підвищить значення концентрації забруднюючої речовини. Нестійкість напрямку вітру сприяє посиленню розсіювання забруднюючих речовин по горизонталі. Для розрахунку достовірної величини ймовірності напрямку вітру в бік Одеси P_W порівняємо рози вітрів [8]. За попередні 110 років (1899...2010 рр.) повто-

рюваність вітру СПнС напрямку не перевищувала 5 % (рис. 2, а). За останні 2 роки повторюваність підвищилась до 7 % (рис. 2, б). Особливо висока повторюваність цього напрямку у теплу пору року, а у вересні 2014 р. вона сягнула 17 % (рис. 2, в), хоча така повторюваність не була типовою для вересня за багаторічний період (рис. 2, з). Враховуючи неоднозначність ситуації, будемо використовувати у розрахунках ризику весь діапазон повторюваності.

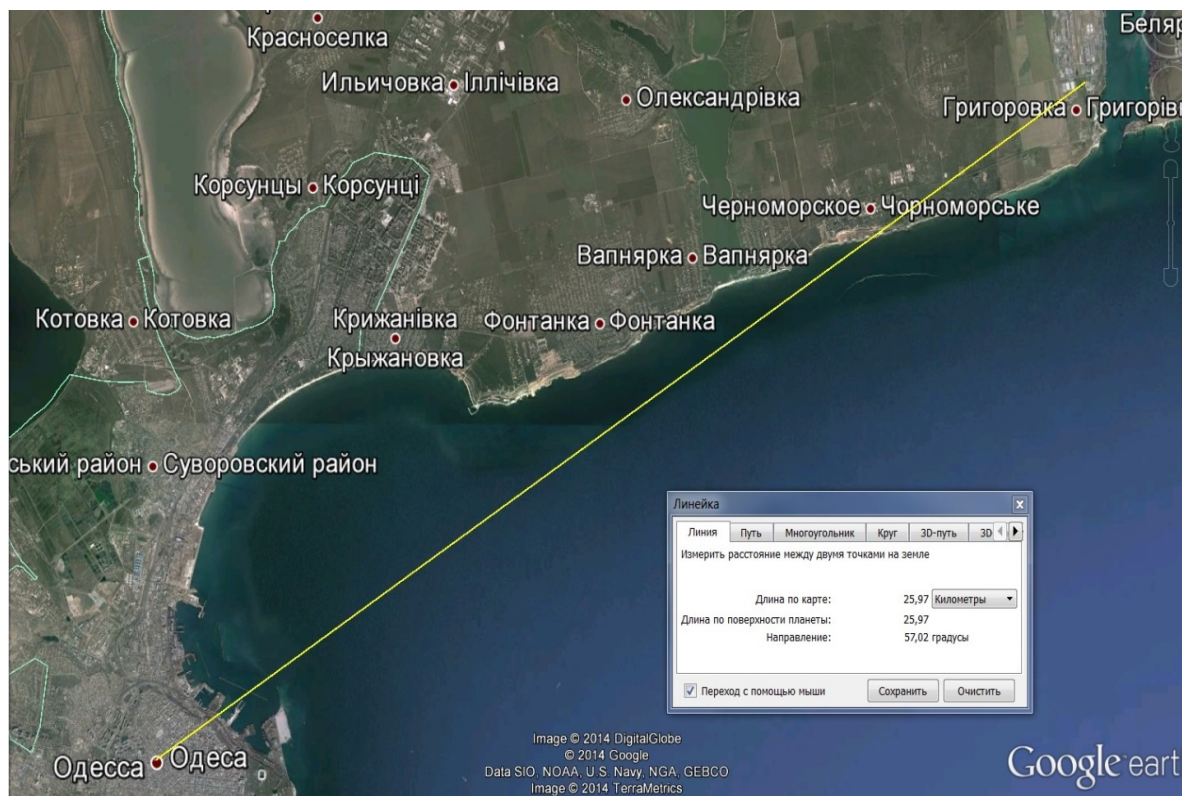


Рис. 1. Розміщення ОПЗ і міста Одеси на карті

Для математичного опису залежності «концентрація-ефект» застосовна модель індивідуальних порогів, яка для зручності практичного використання може бути розбита на дві формули: перша з них описує цю залежність у вигляді прямої за умови, що концентрація виражається в десяткових логарифмах, а ймовірність несприятливого ефекту (ризик) в «пробітах» ($Prob$), тобто у вигляді нормально-ймовірнісної шкали [9]. Таким чином, ймовірність токсичного впливу речовини на людину P_T визначається відповідно до класу небезпеки забрудника через величину $Prob$

$$Prob = -1,41 + 2,33 \lg(C/\Gamma ДК_{м,р}),$$

де $Prob$ — величина, пов'язана з ризиком за законом нормального ймовірнісного розподілу,
 C — розрахункова концентрація речовини в атмосферному повітрі, $\text{мг}/\text{м}^3$,
 $\Gamma ДК_{м,р}$ — максимальна разова гранично допустима концентрація, $\text{мг}/\text{м}^3$.

Є велика кількість методик, які описують поведінку поллютантів в атмосфері та за допомогою яких можна розрахувати концентрацію забруднюючої речовини. Їх всі можна поділити на три групи: емпіричні моделі Гауса, модель лагранжевої хмари, тривимірні моделі. В даній роботі розглянемо математичну модель Гауса, яка докладно описана в [4]. Для вирішення рівнянь гаусової моделі використовуються емпіричні коефіцієнти, що описують атмосферну турбулентність. Гаусові моделі враховують тільки два процеси, що відбуваються з викидом в атмосфері: переміщення в полі вітру і розсіювання за рахунок атмосферної турбулентності. За допомогою цієї методики можна описувати поведінку поллютантів на відстані від 10 до 40 км, що відповідає нашим вихідним даним.

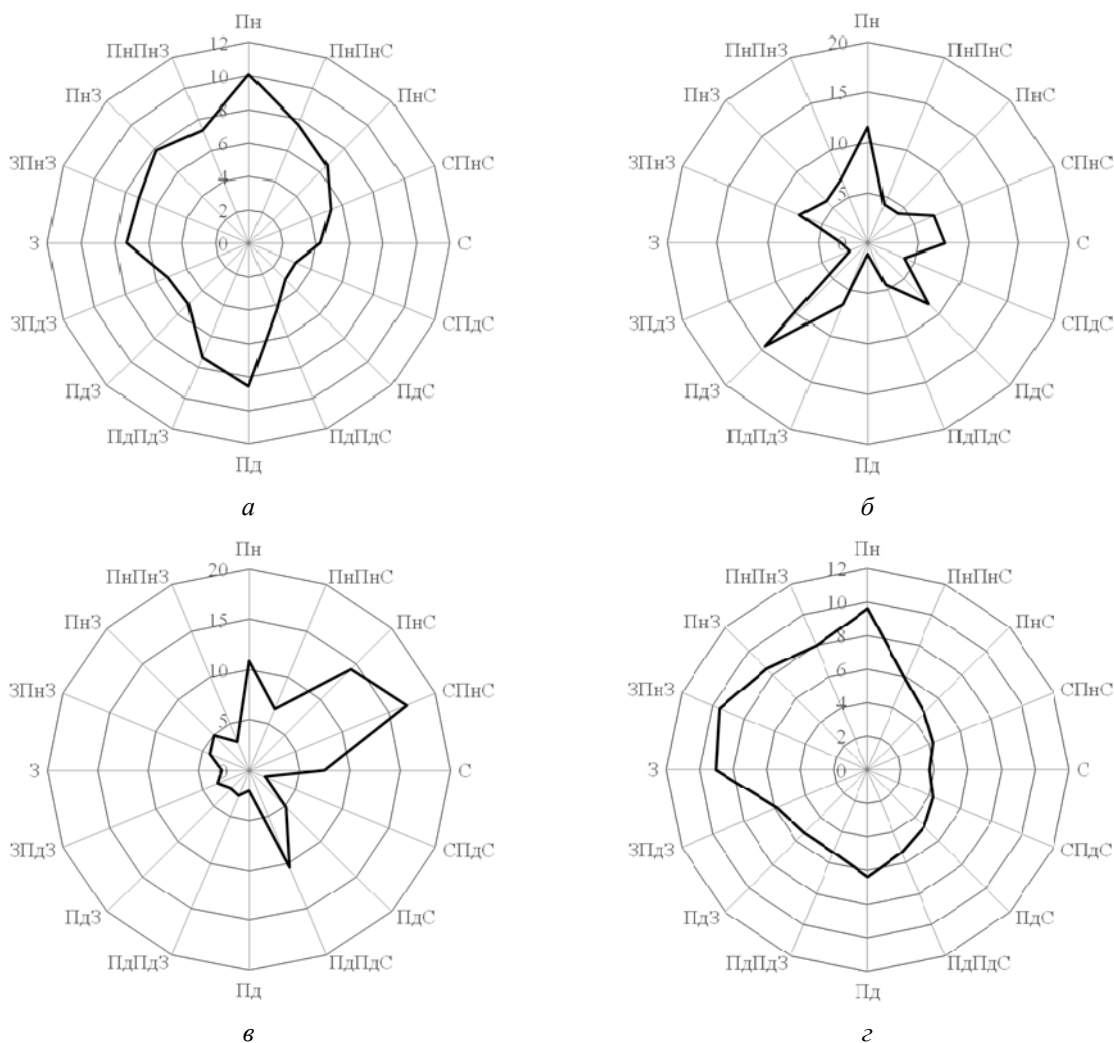


Рис. 2. Рози вітрів для м. Одеса за різні періоди: середній за 1899...2010 рр. (а); середній за 2012...2014 рр. (б); вересень 2014 р. (в); вересень 1899...2012 рр. (г)

Згідно з методикою «Токси 2.2» концентрація аміаку під час проходження первинної хмари аміаку (при повному руйнуванні обладнання, у якому міститься аміак у вигляді газу) розраховується за формулою:

$$c_i(x, y, z, t) = \frac{Q_i}{\frac{8}{3}\pi R_i^3 + (2\pi)^2 \sigma_x \sigma_y \sigma_z} G_3(x, y, z, t),$$

де Q_i — загальна маса НХР, яка утворює первинну хмару, кг;
 $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ — величини дисперсій забруднення, м (дисперсії розраховується за формулами Сміта-Хоскера);

R_3 — радіус первинної хмари, м;

$G_3(x, y, z, t)$ — величина чинника розбавлення:

$$G_3(x, y, z, t) = \exp\left(-\frac{(x-Ut)^2}{2\sigma_x^2} - \frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left(\exp\left(-\frac{(z-h)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+h)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right),$$

де t — час, с
 y — просторова змінна (координата, перпендикулярна напрямку вітру), м;
 z — просторова змінна (координата висоти), м;
 U — швидкість вітру, м/с;
 h — висота джерела викиду, м.

Принциповою величиною є Q_i . Хоча максимальна місткість кожного з чотирьох резервуарів на ОПЗ складає 30000 т, вся ця маса не може потрапити в первинну хмару. Цьому перешкоджає ряд правил безпеки. По-перше, резервуари ніколи не заповнюються повністю, в середньому — 30...40 %. По-друге, всі резервуари обваловані, тобто навіть у випадку утворення великого отвору аміак не розливатиметься по великій площі, а стікатиме у западини, де з часом він повинен бути локалізований. Враховуючи ці обставини та статистику аварій з резервуарами в світі, приймемо що в первинну хмару потрапляє лише 3000 кг аміаку.

На першому етапі проведемо розрахунки зміни концентрації аміаку в центрі м. Одеси при СПнС вітрі (рис. 3).

З рисунка видно, що у разі аварійного викиду 3000 т аміаку, його концентрація в Одесі при швидкості вітру 28,4 м/с досягає максимального значення ($5,1 \cdot 10^{-8}$ кг/м³) через 610 секунд після аварії.

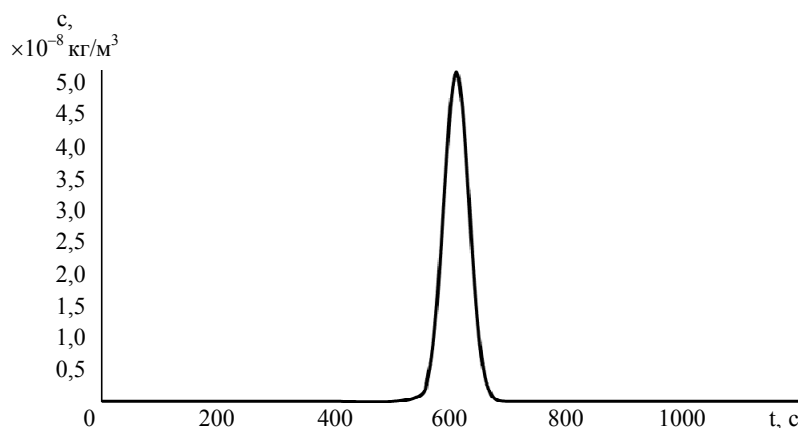


Рис. 3. Залежність концентрації аміаку на території Одеси від часу проходження первинної хмари

В основі принципу оцінки екологічного ризику в методиках покладено вимогу забезпечення гігієнічних нормативів гранично допустимих концентрацій забруднюючих речовин у повітрі. Відмінність полягає в тому, що в основі методики [9] розрахунок ризику здійснюється через *Prob*, яка пов'язана з ризиком за законом нормального ймовірнісного розподілу. В методиці [1] ризик визначається шляхом порівняння концентрації аміаку з його ГДК.

На другому етапі за різними методиками при різних вихідних даних розраховувався екологічний ризик.

Результати. Результати прогнозування екологічного ризику (при $P=10^{-4}$, $P_L=1$) для міста Одеси наведено в таблиці.

Відповідно до класифікації ризиків згідно з [1] всі отримані ризики відносяться до категорії мінімальних (*De Minimis*) — бажана (цільова) величина ризику при проведенні природоохоронних заходів.

Висновки. Проаналізувавши існуючі методики оцінки екологічного ризику від хімічних підприємств, можна зробити висновок, що в частині з них закладені дуже спрощені розрахунки, і вони не призначені для випадків аварій великих резервуарів з НХР. Друга частина могла би використовуватися, але методики мають закритий код і потребують придбання ліцензій для їх використання.

Тому прогнозування екологічного ризику для міста Одеси в результаті аварії на Припортовому заводі було проведено за допомогою методик *Prob* та US EPA, а концентрація аміаку роз-

рахована за допомогою методики «Токси 2.2». Розрахунок проведено для рідини і газової фази аміаку для різних значень швидкості та повторюваності вітру.

Екологічний ризик для міста Одеси у випадку аварії на ОПЗ

Вихідні дані						Величина ризику	
Агрегатний стан	Маса аварійного викиду, кг	Швидкість вітру, м/с	Концентрація аміаку в Одесі, мг/м ³	Повторюваність вітру, P _w , %	P _T [9]	За методикою [9]	За методикою [1]
Газ	3000	3,85 (середня)	8,8·10 ⁻⁹	16,95	-6,99	1,6·10 ⁻⁸	1,4·10 ⁻¹²
				7,14		7,9·10 ⁻⁹	6,2·10 ⁻¹³
				5		5·10 ⁻⁹	4,4·10 ⁻¹³
				6		6·10 ⁻⁹	5,2·10 ⁻¹³
		28,4 (максимальна)	5,1·10 ⁻⁸	16,95	-2,79	1,6·10 ⁻⁸	7,34·10 ⁻¹³
				7,14		7,9·10 ⁻⁹	3,32·10 ⁻¹³
				5		5·10 ⁻⁹	2,33·10 ⁻¹³
				6		6·10 ⁻⁹	2,79·10 ⁻¹³
Рідина	3000	3,85 (середня)	4,9·10 ⁻¹¹	16,95	-9,8	1,6·10 ⁻⁸	7,84·10 ⁻¹⁶
				7,14		7,9·10 ⁻⁹	3,5·10 ⁻¹⁶
				5		5·10 ⁻⁹	2,45·10 ⁻¹⁶
				6		6·10 ⁻⁹	2,94·10 ⁻¹⁶
		28,4 (максимальна)	1,3·10 ⁻¹⁴	16,95	-18,15	1,6·10 ⁻⁸	2,08·10 ⁻¹⁹
				7,14		7,9·10 ⁻⁹	9,28·10 ⁻²⁰
				5		5·10 ⁻⁹	6,5·10 ⁻²⁰
				6		6·10 ⁻⁹	7,8·10 ⁻²⁰

Середньорічна повторюваність найбільш небезпечного напрямку вітру (СПнС) за 2012 ...2014 рр. зросла від 5 до 7 %. Найбільших значень повторюваність цього напрямку досягає в теплу пору року. Так, у вересні 2014 р. повторюваність сягала 17%, що відповідно підвищує екологічний ризик.

Числові розрахунки за обраними методиками дозволили зробити висновки про мінімальне значення ризику у разі аварії за прогнозованим сценарієм (викид 3000 кг аміаку з ОПЗ в атмосферу).

Розрахункові величини ризиків за методикою Prob від 4 до 6 порядків більше ніж за методикою US EPA, що свідчить про відсутність єдиного підходу і необхідності удосконалення як вітчизняних, так і існуючих зарубіжних методик.

Література

1. Про затвердження методичних рекомендацій «Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря»: наказ від 13.04.2007 № 184 [Електронний ресурс] / Міністерство охорони здоров'я України. — Режим доступу: http://www.moz.gov.ua/ua/portal/dn_20070413_184.html (Дата звернення: 02.02.2015).
2. Surface-to-Air Particle Suspension Formulations: Computed Source Term Release Model, Multimedia Environmental Pollutant Assessment System (MEPAS) [Електронний ресурс] / U.S. Department of Energy. Pacific Northwest National Laboratory. — Режим доступу: <http://mepas.pnl.gov/mepas/mfor/index.html> (Дата звернення: 02.02.2015).
3. Программный комплекс по расчету последствий аварий и расчету пожарного риска ТОХІ+ [Електронний ресурс] / НТЦ «Промышленная безопасность». — Режим доступу: <http://www.safety.ru/software/toxi> (Дата звернення: 02.02.2015).
4. Методика оценки последствий химических аварий (Методика «Токси». Редакция 2.2) // В кн. Методики оценки последствий аварий на опасных производственных объектах: Сборник документов. Серия 27. Выпуск 2 / Колл. авт. — 3-е изд., испр. и доп. — М.: ЗАО «НТЦ исследований проблем промышленной безопасности», 2010. — С. 123 — 206.

5. Gogunsky, V.D. Markov model of risk in the life safety projects / V.D. Gogunsky, Yu.S. Chernega, E.S. Rudenko // Пр. Одес. політехн. ун-ту. — 2013. — Вип. 2(41). — С. 271 — 276.
6. Лисиченко, Г.В. Методологія оцінювання екологічних ризиків: монографія / Г.В. Лисиченко, Г.А. Хміль, С.В. Барбашев; Нац. акад. наук України, Ін-т геохімії навколиш. середовища, Укр. ядер. т-во. — Одеса: Астропринт, 2011. — 367 с.
7. Сравнение результатов расчетов последствий аварийных выбросов опасных веществ по программным комплексам ТОКСИ+ и PHAST / М.В. Лисанов, К.В. Ефремов, С.И. Сумской, В.А. Пантелеев // Безопасность труда в промышленности. — 2011. — № 2. — С. 56 — 60.
8. Кліматичні дані по м. Одеса за період з 1899 р. [Електронний ресурс] / Український гідрометорологічний центр. — Режим доступу: http://meteo.gov.ua/ua/33837/climate/climate_stations/137/21 (Дата звернення: 12.12.2014).
9. Киселев, А.В. Оценка риска здоровью / А.В. Киселев, К.Б. Фридман. — СПб: Дейта, 1997. — 100 с.

References

1. Ministry of Health of Ukraine (2007). *Human health risk assessment from air pollution*. Retrieved from http://www.moz.gov.ua/ua/portal/dn_20070413_184.html
2. STC “Industrial Safety” (n.d.). *Software system for accidents consequences estimation TOXI+*. Retrieved from <http://www.safety.ru/software/toxi>
3. Pacific Northwest National Laboratory (n.d.). *Surface-to-Air Particle Suspension Formulations: Computed Source Term Release Model, Multimedia Environmental Pollutant Assessment System (MEPAS)*. Retrieved from <http://mepas.pnnl.gov/mepas/mfor/index.html>
4. Ministry of Civil Defense and Emergency Situations of the Republic of Tatarstan (n.d.). *Methods for Evaluating the Impact of Chemical Accidents (TOXI, Rev. 2.2)*. Retrieved from http://mchs.tatarstan.ru/rus/file/pub/pub_28034.pdf
5. Gogunsky, V.D., Chernega, Yu.S. and Rudenko, E.S. (2013). Markov model of risk in the life safety projects. *Odes'kyi Politechnichniy Universytet. Pratsi*, 2, 271-276.
6. Lysychnenko, G.V., Hmil, G.A. and Barabashev, S.V. (2011). *Methodology for Environmental Risks Assessment*. Odessa: Astroprint.
7. Lisanov, M.V., Efremov, K.V., Sumskoi, S.I. and Panteleev, V.A. (2011). Comparing the results of calculations of the consequences of emergency discharge of dangerous substances according to the software systems TOXI+ and PHAST. *Labour Safety in Industry*, 2, 56-60.
8. Ukrainian Hydrometeorological Center (n.d.). *Odessa Climate Data for the period from 1899*. Retrieved from http://meteo.gov.ua/ua/33837/climate/climate_stations/137/21
9. Kiselev, A.V. and Friedman, K.B. (1997). *Health Risk Assessment*. St.Petersburg: Deyta.

Надійшла до редакції 20 січня 2015 р.