

6. Соя: промышленная переработка, кормовые добавки, продукты питания / Адамень Ф.Ф., Сичкарь В.В., Письменов В.Н., Шерстобитов В.В. – 2-е видання. – К.: Нора-принт, 2003. – 476с.
7. Петибская В.С. Соя: химический состав и использование / под ред. академика РАН, д-ра с.-х. наук В.М.Лукомца. – Майкоп: ОАО "Полиграф-Юг", 2012. – 432с.
8. Підлубна О.Д. Економічна ефективність виробництва насіння сої на регіональному рівні / О.Д.Підлубна, С.М.Концеба // Економіка АПК. – 2015. – №1. – С.14-20.

*Надійшла до редколегії 31.10.2016.*

УДК 629.039.58

МАХОВСЬКИЙ В.О., к.т.н, доцент  
КРЮКОВСЬКА О.А., к.т.н, доцент

Дніпровський державний технічний університет

## **ОЦІНКА РИЗИКУ ВИНИКНЕННЯ ТА РОЗВИТКУ АВАРІЙ І АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЙ НА ХЛОРАТОРНИХ ФІЛЬТРУВАЛЬНИХ НАСОСНИХ СТАНЦІЯХ**

**Вступ.** Устаткування хлораторної фільтрувальної насосної станції (ФНС) не характеризується будь-якими небезпеками, які обумовлені конструктивними особливостями обладнання та його оснащення. Всі ризики, властиві обладнанню хлораторної, обумовлені небезпеками властивостей технологічного середовища і параметрів технологічного процесу. Ступінь небезпеки, в деяких випадках, залежить від технічних характеристик обладнання.

Хлораторна ФНС включає в себе розвантажувальний майданчик, де проводиться розвантаження балона з рідким хлором, приміщення хлораторної та склад балонів з хлором.

Балон з рідким хлором відрізняється від технологічного обладнання тим, що за його допомогою періодично здійснюють операцію розвантаження з транспорту в приміщення хлораторної. При розвантаженні і переміщенні балона існує небезпека механічного пошкодження. Крім того, на об'єкті обстеження тільки в балоні знаходиться хлор у зрідженому стані.

У разі викиду з балона рідкий хлор потрапляє в умови, при яких він знаходиться в газоподібному стані, тобто при нормальних умовах рідкий хлор поводить як перегріта рідина – інтенсивно випаровується. Крім того, інтенсивність випаровування проливу рідкого хлору залежить від температури навколишнього повітря (пору року) і погодних умов, а від швидкості та напряму вітру залежать глибина і площа можливої зони зараження.

Маса хлору, що випарувався, і, відповідно, глибина і площа можливої зони зараження в значній мірі залежать від площі поверхні протоку. Протоки рідкого хлору в хлораторній обмежені площею приміщення, а у разі викиду рідкого хлору поза приміщенням площа протікання не обмежується будь-якими пристроями або спорудами. Таким чином, максимальні масштаби аварії можуть бути досягнуті у разі руйнування балона з рідким хлором поза приміщенням, при цьому площа поверхні протоки буде максимальною.

**Постановка задачі.** Дослідити і кількісно оцінити ризики, які можуть виникнути при аваріях (аварійних ситуаціях) на хлораторній насосній станції. При оцінці ризиків, що виникають в процесі роботи хлораторної, оцінити наслідки, а також ймовірності тієї чи іншої аварії, яка може статися. Факторами, що грають важливу роль в таких оцінках, є характеристики процесу, тривалість, ступінь впливу небезпечної хімічної речовини, розміри зон зараження, присутність людей.

**Результати роботи.** Оцінка ризику проводилася спільно з оцінкою ймовірності події у поєднанні з кількісним аналізом наслідків можливих аварій і аварійних ситуацій. Основні завдання оцінки ризику були пов'язані з: 1) визначенням частот виникнення ініціюючих і всіх небажаних подій; 2) оцінкою наслідків виникнення небажаних подій; 3) узагальненням оцінок ризику.

Для визначення частоти небажаних подій використовувалися:

- статистичні дані з аварійності та надійності технологічної системи, що відповідають специфіці роботи станції;
- аналіз поширення аварії з метою визначення необхідної ймовірності;
- логічні методи аналізу „дерева подій”, „дерева відмов”, імітаційні моделі виникнення аварій;
- експертні оцінки.

Практика показує, що аварії часто характеризуються комбінацією випадкових подій, що відбуваються з різною частотою на різних стадіях виникнення і розвитку аварії (відмови устаткування, помилки людини, непрогнозовані зовнішні впливи, руйнування, викид, витік речовини, розсіювання речовин, займання, вибух, інтоксикація і т. п.). Для виявлення причинно-наслідкових зв'язків між цими подіями використовувалися логіко-графічні методи аналізу „дерев відмов” і „дерев подій”.

Процес побудови „дерева помилок” виникнення аварії в хлораторній насосній станції показано на рис.1.

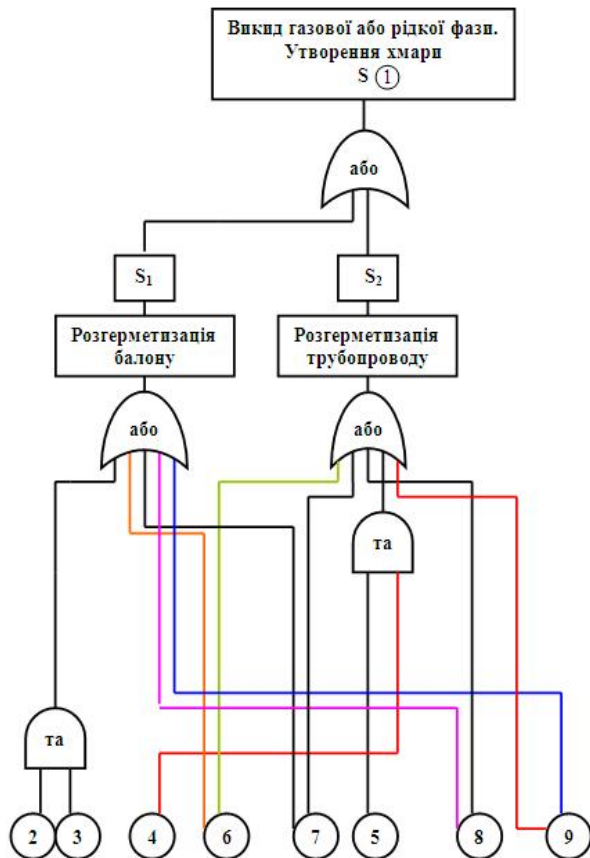


Рисунок 1 – „Дерево помилок” виникнення аварії у хлораторній ФНС

Негативна подія у системі (утворення хмари) зображена як головна подія  $S$  (1 –початкова подія) і пов'язана з численними базовими подіями (помилки, відмови, несприятливі зовнішні впливи), що утворюють причинні ланцюги (сценарії аварій) із зазначенням цих подій і логічних операцій над ними. Для зв'язку між подіями у „вузлах” дерев використовуються знаки „та” і „або”. Логічний знак „та” означає, що наведена вище подія виникає при одночасному настанні подій, які розташовані нижче (відповідає перемножуванню їх ймовірностей для оцінки ймовірності події, яка вище). Знак „або” означає, що розташована вище подія може відбутися внаслідок виникнення однієї з нижчих подій. Основна перевага „дерева помилок” в порівнянні з іншими методами полягає в тому, що дослідження обмежується лише тими елементами системи і тими подіями, які призводять до конкретної небезпечної відмови або аварії.

Аналіз „дерева відмов” – алгоритм побудови послідовностей подій, що призводять до основної події, який дозволяє обчислити вірогідність основної події, виходячи з ймовірностей елементарних подій. При аналізі „дерев відмов” виявлено комбінації відмов (пошкоджень) обладнання, інцидентів, помилок персоналу та непрогнозованих зовнішніх (техногенних, природних)

впливів, що призводять до головної події (аварійної ситуації). Метод використано для аналізу можливих причин виникнення аварійної ситуації і розрахунку її частоти (на основі знання частот вихідних подій).

Вираз для головної події в розглянутому „дереві помилок” має вигляд:

$$S = S_1 \cup S_2,$$

де  $S_1 = (P_2 \cap P_3) \cup P_6 \cup P_7 \cup P_8 \cup P_9$ ;  $S_2 = P_6 \cup P_7 \cup (P_4 \cap P_5) \cup P_8 \cup P_9$ .

Обчислення коефіцієнта неготовності системи (ймовірність відмови системи)  $Q_s(t) = P(S)$ , використовуючи дані табл.1, дало наступний результат:

$$Q_s(t) = 4,837 \cdot 10^{-3}.$$

Таблиця 1 – Вихідні події „дерева відмов”

Найменування подій або станів моделі	Ймовірність події $P_i$
2. Відмова запірного вентиля на балоні з хлором	0,229
3. Відмова манометру	0,011
4. Відмова запобіжної мембрани	$9,81 \cdot 10^{-5}$
5. Відмова вентилів трубопроводу	0,0524
6. Ураження резервуара блискавкою	$1,581 \cdot 10^{-4}$
7. Корозійний знос	0,00001
8. Помилки персоналу	0,001
9. Зовнішні фактори (дії природних сил або теракти)	0,000001

Узагальнені статистичні дані з оцінки частот відмов обладнання наведено в табл.2.

Таблиця 2 – Узагальнені статистичні дані з оцінки частот відмов

Тип відмови обладнання	Імовірність відмови	Масштаби викиду небезпечних речовин
Розгерметизація резервуарів зберігання (включаючи розрив зварних швів і фланців трубопроводів обв'язки): повне руйнування часткове руйнування	$10^{-5}$ на год. $10^{-4}$ на год.	Повний вміст резервуара
Розгерметизація технологічних трубопроводів довжиною понад 30 м	$5 \cdot 10^{-3}$ на 1 км трубопроводу за рік	Обсяг викиду, що дорівнює об'єму трубопроводу, обмеженого арматурою, з урахуванням надходження з сусідніх блоків за час перекриття потоку

При аналізі було встановлено, що причиною ризику є можливість неконтрольованого викиду хлору або вихід з-під контролю процесу вивільнення енергії.

Нижче на графіках наведено результати розрахунку концентрації хлору в атмосфері, а також розміри зони хімічного зараження, де можливе смертельне ураження незахищених людей на відкритій місцевості для найбільш ймовірного розвитку аварії з менш тяжкими наслідками, але більш ймовірними умовами розвитку аварії: весь хлор, що знаходився у балоні, викидається в навколишнє середовище (метеоумови: інверсія, швидкість вітру 1 м/с).

При цьому смертельна токсодоза при поширенні хлорної хмари (6 мг.хв/л) зберігається на відстані до 200 м у напрямку за вітром, а порогова токсодоза (0,6 мг.хв/л) – на відстані до 600 м (рис.2, 3).

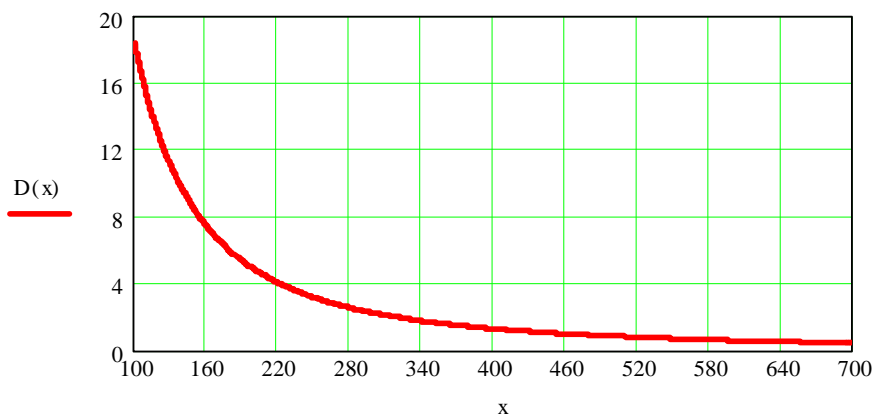


Рисунок 2 – Токсодоза на осі хмари (в напрямку за вітром) при викиді 50 кг рідкого хлору за всю аварію

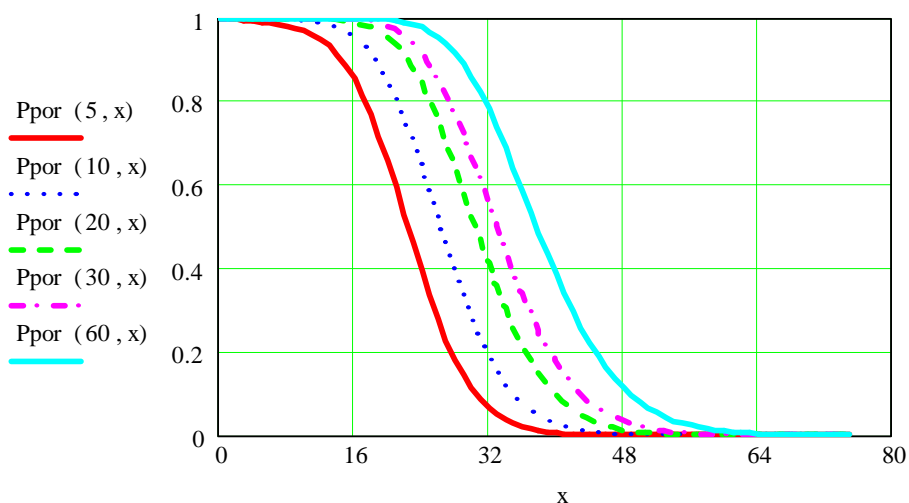


Рисунок 3 – Імовірність ураження хлором на різних відстанях (x) при часі експозиції (5, 10, 20, 30, 60 хв.)

З рис.4 і 5 видно, що зона прийнятної ризику (територіального та індивідуального) знаходиться за межами 50 м при часі експозиції 5 хв. і 60 м – при часі експозиції 30 хв.

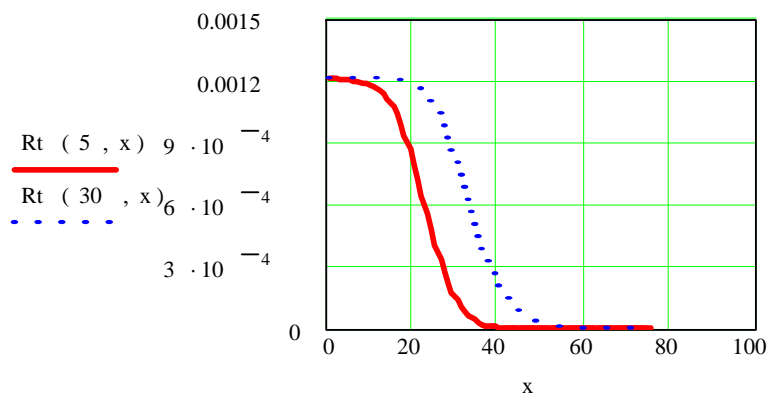


Рисунок 4 – Територіальний ризик ураження хлором на різних відстанях при часі експозиції (5, 30 хв.)

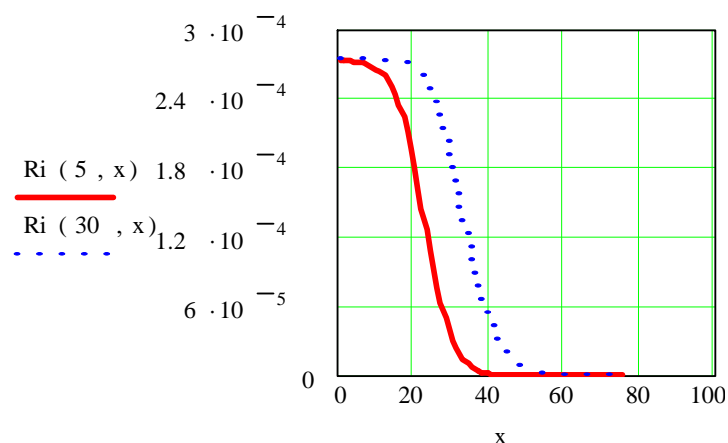


Рисунок 5 – Індивідуальний ризик ураження хлором на різних відстанях при часі експозиції (5, 30 хв.)

При відомій імовірності появи людини в певній точці простору визначався індивідуальний ризик (частота ураження окремого індивідуума в результаті впливу досліджуваних факторів небезпеки) загибелі в цій точці людини, яка мешкає в даному регіоні (абсолютно прийнятний індивідуальний ризик вважається неприйнятним). Індивідуальний ризик вимірюється щорічною ймовірністю для індивідуума стати жертвою нещасного випадку внаслідок аварії. У загальному випадку кількісно індивідуальний ризик виражається відношенням кількості постраждалих людей до загальної кількості, які ризикують за певний момент часу. Він знаходиться як відношення щорічної кількості нещасних випадків до загальної кількості людей ( $N$ ), які можуть стати жертвами. Величина індивідуального ризику внаслідок викиду хлору при кількості осіб, що потрапили в зону смертельного ураження (прийнято для розрахунків 100 чол.), склала:

$$R_i = 3,45 \cdot 10^{-4}.$$

Для оцінки територіального ризику за отриманими при моделюванні аварії значеннями вражаючого фактора в певній точці простору визначалася умовна імовірність летального результату в разі перебування людини в цій точці (абсолютно прийнятний територіальний ризик  $R_t \leq 10^{-7}$ ; вважається неприйнятним  $R_t > 10^{-5}$ ).

Територіальний ризик в  $k$ -ій точці простору для ініціювання події на конкретному джерелі небезпеки визначається як

$$R_{t_{ijmf}}^k = P_{Bij} \cdot P_{um} \cdot P_{af} \cdot P_{ck},$$

де  $P_{Bij}$  – вірогідність виникнення аварії на  $i$ -тому джерелі при реалізації ініціюючої події;  $P_{um}$  – умовна вірогідність можливих наслідків аварії;  $P_{af}$  – умовна вірогідність реалізації одного з можливих видів аварій (пожежа, вибух, розсіювання шкідливих домішок ін.);  $P_{ck}$  – умовна вірогідність летального результату у  $k$ -ій точці простору.

Величина територіального ризику склала:

$$R_t = 3,44 \cdot 10^{-4} \cdot 4,837 \cdot 10^{-3} = 1,67 \cdot 10^{-6}.$$

**Висновки.** Основною небезпекою хлораторних насосних фільтрувальних станцій є наявність рідкого хлору в балонах. Встановлено, що протоки рідкого хлору набагато небезпечніші, ніж викиди газоподібного, так як при протоках рідкого хлору джерело утворення газової хвилі існує більш тривалий час. При викиді газоподібного і протоці рідкого хлору формується токсична газова хвиля, потужність якої визначається кількістю викиду. Швидкість руху газової хвилі та розсіювання утвореної токсичної хмари залежать від кліматичних умов і стану атмосфери. З усіх випадків викиду рідкого хлору

найбільш небезпечними є викиди поза приміщеннями і спорудами, які обмежують площу потоку. У перші секунди з моменту можливого порушення герметичності обладнання і трубопроводів, що містять хлор, над поверхнею землі формується первинна газова хмара. При вільному потоці велика частина пролитого хлору, яка залишилася після миттєвого випаровування частини хлору, випарується протягом 3-5 хвилин за рахунок теплопритоку з навколишнього середовища. Це означає, що при аварійному порушенні герметичності обладнання і трубопроводів, що містять хлор, за першу хвилину утворюється первинна хлорна хмара, а за наступні 5-10 хвилин її маса може збільшитися до маси пролитого хлору. Висота хмари при цьому не буде перевищувати 2,0-3,5 м.

Локалізацію хлорної хмари за такий короткий час можна вважати технічно нездійсненою. Системи локалізації хлорної хвилі мають низьку ефективність через низьку розчинність хлору у воді. Водою можуть бути частково локалізовані лише малі та локальні витіки хлору. При швидкоплинних і масових викидах хлору системи локалізації водою також неефективні.

Виняток або мінімізація ураження від викидів можливі лише в початковий період аварії шляхом зниження внутрішнього енергопотенціалу хлору і обмеження теплопритоку з навколишнього середовища.

У результаті проведених досліджень за допомогою „дерева відмов” ймовірність відмови системи (балон –хлоропровід) склала  $4,837 \cdot 10^{-3}$ . При цьому смертельна токсодоза при поширенні хлорної хмари (6 мг·хв/л) зберігається на відстані до 200 м в напрямку за вітром, а порогова токсодоза (0,6 мг·хв/л) – на відстані до 600 м.

При виборі конкретних заходів щодо зниження ризику вирішальне значення має загальна оцінка дієвості та надійності заходів, які впливають на ризик, а також розмір витрат на їх реалізацію.

Оскільки час поширення хлорної хвилі на глибину смертельної токсодози становить менше хвилини, то основним засобом захисту працюючого персоналу є застосування засобів індивідуального захисту (ЗІЗ). Для зменшення величини індивідуального ризику в даному випадку необхідно передбачити наявність ЗІЗ в доступних місцях, а також постійний контроль за справністю системи оповіщення.

Оскільки відсоток людського фактора в загальній частці ймовірності виникнення аварій становить значну частину, то для зменшення рівня ризику виникнення аварійних ситуацій необхідна висока кваліфікація обслуговуючого персоналу, проведення навчальних тренувань по локалізації та ліквідації тих чи інших аварійних ситуацій, передбачених планами локалізації та ліквідації аварійних ситуацій і аварій, а також відповідними розділами інструкцій з охорони праці. Істотним чинником, що знижує ймовірність виникнення аварій, є автоматизація виробничих процесів шляхом виключення людини з технологічних процесів, в яких використовуються небезпечні хімічні речовини.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Бесчастнов М.В. Промышленные взрывы. Оценка и предупреждение / Бесчастнов М.В. – М.: Химия, 1991. – 432с.
2. Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств: НПА ОП 0.00-1.41-88. – М.: Металлургия, 1988. – 60с.
3. Краткая химическая энциклопедия. Т.5. / гл. ред. Кнунянц И.Л. – М.: Советская энциклопедия, 1967. – 233с.
4. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справочник в 2 книгах / [А.Н.Баратов, А.Я.Корольченко, Г.Н.Кравчук и др.]. – М.: Химия, 1990. – 496с.
5. Дранишников Л.В. Оценка риска возникновения аварии / Дранишников Л.В., Найверт А.В. // Проблемы математического моделирования: міждерж. наук.-метод. конф., 26-28 травня 2004р.: тези доп. – Дніпродзержинськ. ДГТУ, 2004. –С.56-57.

Надійшла до редколегії 31.10.2016.