

Ульяновська Ю. В., кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри комп'ютерних наук та інженерії програмного забезпечення Університету митної справи та фінансів

Яковенко В. О., доктор технічних наук, доцент, професор кафедри комп'ютерних наук та інженерії програмного забезпечення Університету митної справи та фінансів

Мала Ю. А., кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерних наук та інженерії програмного забезпечення Університету митної справи та фінансів

Яковенко Т. Ю., кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних наук та інженерії програмного забезпечення Університету митної справи та фінансів

Авілова В. О., Junior Frontend Developer, Loorpe, Дніпро

ВИЗНАЧЕННЯ СТУПЕНЯ РИЗИКУ ВИНИКНЕННЯ АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЙ НА ОСНОВІ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

У дослідженні проаналізовано існуючі методи визначення ризиків виникнення аварійних ситуацій. Авторами запропонована модифікація методу оцінки ризиків виникнення небезпечних ситуацій на виробництві. Метод базується на теорії нечітких множин і понятті лінгвістичної змінної. Такий підхід дає можливість адаптувати його до будь-яких виробництв шляхом зміни критеріїв і назв входних змінних. Для моделювання системи було використано Fuzzy Logic Toolbox – пакет розширення MATLAB. У статті зроблено висновок, що визначення ступеня ризику будь-якого виробництва дає можливість сформулювати відповідний до ступеня ризику комплекс дій, спрямованих на запобігання виникненню аварійних ситуацій.

Ключові слова: надзвичайна ситуація; ризик; ймовірність; нечітка логіка; лінгвістичні змінні.

© Ю. В. Ульяновська, В. О. Яковенко, Ю. А. Мала,
Т. Ю. Яковенко, В. О. Авілова, 2021

The study analyzes existing methods for determining the risk of accidents. The authors propose a modification of the method of assessing the risks of dangerous situations at work. The method is based on the theory of fuzzy sets and the concept of linguistic variable. This approach makes it possible to adapt it to any production by changing the criteria and names of input variables. Fuzzy Logic Toolbox, a MATLAB extension package, was used to model the system. The paper concludes that determining the degree of risk of any production makes it possible to form an appropriate to the degree of risk set of actions aimed at preventing emergencies.

Key words: *emergency situation; risk; probability; fuzzy logic; linguistic variables.*

Постановка проблеми. Україна належить до країн з високим рівнем ризику техногенних аварій і катастроф. Найбільша кількість потенційно небезпечних об'єктів (ПНО) експлуатується в хімічній, оборонній промисловості, енергетиці, транспорті та будівництві. Сучасний стан безпеки в Україні гірший у порівнянні з іншими європейськими країнами.

Ступінь ризику отримати травму або загинути в Україні на одну-дві сходинок вища, ніж у країнах Центральної та Західної Європи. З метою уніфікації всі наслідки прояву небезпек розглядають як шкоду. Кожний вид шкоди має своє кількісне вираження. Показовим кількісним способом визначення шкоди вважається вартісний спосіб. У цьому випадку шкода визначається у грошовому еквіваленті. Друга, не менш важлива характеристика небезпеки, точніше, міра можливої небезпеки – це частота її прояву.

Універсальною характеристикою небезпеки, яка охоплює ймовірність реалізації небезпеки та можливу шкоду від прояву небезпеки, є ризик. Залежно від джерел небезпеки ризику можуть бути техногенними, природними, соціально-політичними та комбінованими. Природний ризик пов'язаний з імовірністю прояву несприятливих природних явищ; соціально-політичний – небезпечних дій інших людей. Техногенний ризик виникає в результаті аварій на АЕС, танкерах, небезпечних хімічних об'єктах і під час руйнування гребель водоймищ. Згідно з ДСТУ 2293-99 ризик (R) – це ймовірність заподіяння шкоди з урахуванням її тяжкості.

Ризик надзвичайної ситуації (НС) – кількісна міра можливості реалізації небезпек і загроз техногенного, природного, біолого-соціального та іншого характеру, що обумовлює виникнення й розвиток НС. В якості кількісної характеристики ризику використовується ймовірність або частота виникнення аварій і катастроф, небезпечних природних явищ, біолого-соціальних подій та інших джерел НС в комплексі з математичним очіку-

ванням збитку, що завдається населенню, навколишньому середовищу, господарсько-економічним та іншим об'єктам під час реалізації небезпек і загроз [1].

Підвищення ступеня захищеності населення і територій України від НС, зменшення ризиків виникнення та мінімізація наслідків НС техногенного і природного характеру належить до пріоритетних завдань єдиної державної системи цивільного захисту [2].

Сучасні механізми управління ризиками, спрямовані на зменшення їх значень, не набули широкого практичного застосування. Так, кількісна оцінка ризиків використовується лише в окремих галузях, а саме під час аналізу безпеки атомних електричних станцій, декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки. Водночас недосконалі нормативно-правові, організаційні та технічні методи управління ризиками не дають змоги досягти рівнів ризиків, що відповідають рівням економічно розвинутих держав.

Ресурси, що нині витрачаються Україною на ліквідацію наслідків НС техногенного і природного характеру, на кілька порядків перевищують видатки, що виділяються на забезпечення техногенної та природної безпеки. Однією з головних причин низького рівня безпеки населення, територій, соціальних, техногенних і природних об'єктів в Україні є слабкість державної політики, спрямованої на посилення превентивної діяльності у сфері забезпечення техногенної та природної безпеки. Щоб подолати підвищення рівня ризику стихійних природних явищ, обумовлених глобальним потеплінням клімату, зростанням сейсмічної активності, розширенням озонових дірок тощо, а також інтенсифікацією впливу техногенної діяльності людства на навколишнє природне середовище та наявність значної кількості небезпечних техногенних об'єктів на території України, необхідно негайне впровадження системи управління ризиками.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проведений аналіз наукових джерел засвідчив, що існує багато підходів до оцінки небезпек НС та ризику їх виникнення. Так, Г. Хміль [3] пропонує визначення комплексної оцінки техногенної та природної безпеки в регіональному вимірі на основі методів системного аналізу та інтегральних показників ризику. Проведені автором дослідження свідчать, що кількісна порівняльна оцінка техногенної та природної безпеки регіонів необхідна для управління безпекою населення шляхом видачі рекомендацій щодо оптимального розподілу матеріальних і фінансових ресурсів між регіонами на запобігання НС та зниження ризиків їх виникнення під час розробки державних і регіональних програм, спрямованих на підвищення безпеки населення в найбільш уразливих регіонах. Г. В. Іванець [5] здійснив аналіз основних факторів, які, на його думку, впливають на стан безпеки виникнення НС і зазначив, що порівняльні оцінки небезпечних факторів різних регіонів України суттєво різняться, це

зумовлено розвитком їхнього промислового комплексу, природно-ресурсним потенціалом, екологічною і соціальною ситуацією. П. Г. Беловим [6] розроблено показники оцінки стану небезпеки території та зроблена спроба її розподілу відповідно до декількох рівнів небезпек окремо для НС техногенного та природного характеру. Регіональні особливості, які впливають на стан техногенної та природної безпеки, ризик виникнення НС досліджені недостатньо, тому потребують подальшого аналізу.

Аналіз ризику полягає у побудові множини всіх сценаріїв виникнення й розвитку можливих аварій на об'єкті з подальшою оцінкою частот реалізації та визначенням масштабів їх наслідків. Результати аналізу ризику використовуються під час декларування, експертизи, страхування промислової безпеки небезпечних виробничих об'єктів; економічного аналізу безпеки за критеріями “вартість-безпека-вигода”; оцінки впливу господарської діяльності об'єктів на навколишнє природне середовище та в інших процедурах, пов'язаних з аналізом безпеки [6].

Мета статті – побудова методу чисельної оцінки ризику виникнення аварії на основі аналізу окремих характеристик шкідливих факторів та умов виробництва з використанням математичного апарату нечіткої логіки.

Виклад основного матеріалу. В сучасній вітчизняній та закордонній практиці для формалізації ризику R широко використовується модель, що пов'язує між собою ймовірність виникнення негативної події P (аварії, катастрофи) і величину можливих наслідків W у результаті реалізації цієї події, а саме [7]:

$$R = P \cdot W. \quad (1)$$

Наявна в цій моделі ймовірність P чисельно виражає міру можливості здійснення тієї чи іншої негативної події A , пов'язаної з невизначеною ситуацією, а величина очікуваних наслідків W внаслідок реалізації негативної події A залежить не тільки від можливих втрат (кількості загиблих, поранених, матеріальних втрат), але й від ступеня вразливості об'єкта, території для події A , тобто

$$W(A) = V(A) \cdot U(A), \quad (2)$$

де $W(A)$ – величина можливих наслідків реалізації події A ;

$V(A)$ – ступінь уразливості об'єкта для події A ;

$U(A)$ – повний збиток внаслідок реалізації події A . Таким чином, підставляючи вираз (2) у формулу (1), отримуємо таку модель для визначення рівня ризику:

$$R(A) = P(A) \cdot V(A) \cdot U(A), \quad (3)$$

де $R(A)$ – ризик негативної події A ;

$P(A)$ – ймовірність реалізації негативної події A ;

$V(A)$ – ступінь уразливості об'єкта до події A ;

$U(A)$ – умовний повний збиток під час реалізації події A .

Отже, формула (3) є загальною для всіх типів ризиків, які характеризуються своїми масштабами прояву. Але під час її практичного використання в кожному конкретному випадку може виникнути необхідність внесення відповідних уточнень.

Загальноприйнятою для кількісного виміру небезпек є “шкала”, у якій в якості вимірювання використовуються одиниці ризику. У загальному випадку ризик виражається у вигляді добутку частоти реалізації небажаної події на масштаб певного виду наслідків. При цьому під збитком можна розуміти не тільки прямий збиток від зруйнованого промислового об'єкта, але й кількість потенційних смертельних випадків серед людей у результаті виникнення або аварійних ситуацій, природних катастрофічних явищ. Найпоширенішою характеристикою небезпеки є індивідуальний ризик – частота враження окремого індивідуума (людини) у результаті впливу досліджуваних факторів небезпеки [6].

Кількісно індивідуальний ризик виражається відношенням кількості постраждалих людей до загальної кількості тих, хто ризикує, за певний період часу. Колективний ризик – очікувана кількість уражених (травмованих або загиблих) у результаті можливих аварій за певний період часу. Соціальний ризик – залежність частоти виникнення подій F , в яких постраждало на певному рівні не менше N людей.

В умовах виробництва для визначення рівня індивідуального ризику слід ураховувати природу аварії, частку часу перебування в “зоні ризику” та місцезнаходження тих, хто ризикує. У зв'язку з цим індивідуальний ризик розраховується за формулою [6]:

$$R_{ind} = \sum_{i=1}^n Q_i Q_{ni} P_{np}, \quad (4)$$

де R_{ind} – індивідуальний ризик, 1/рік;

Q_i – частота реалізації i -го сценарію протягом року, 1/рік;

Q_{ni} – умовна ймовірність ураження людини при реалізації i -го сценарію аварії;

P_{np} – ймовірність присутності людини в зоні дії уражальних факторів i -го сценарію аварії (0÷1);

n – кількість сценаріїв аварії.

Імовірність присутності персоналу в зоні дії уражальних факторів можливої аварії визначається за формулою:

$$P_{np} = \frac{\tau_i N_i}{T}, \quad (5)$$

де τ_i – час знаходження працюючого в межах зон уражаючих факторів в одну зміну, год;

T – кількість годин на рік;

n – кількість робочих змін на рік.

Колективний ризик розраховується за формулою:

$$R_{кол} = \sum_{i=1}^n Q_i N_i, \quad (6)$$

де $R_{кол}$ – колективний ризик, чол./рік;

Q_i – ймовірність реалізації i -того сценарію аварії протягом року;

N_i – кількість загиблих під час реалізації i -того сценарію аварії.

Середній індивідуальний ризик розраховується за формулою:

$$R_{cp} = \frac{R_{кол}}{N_i}, \quad (7)$$

де R_{cp} – середній індивідуальний ризик, 1/рік;

N_i – кількість персоналу, що піддається ризику, люд.

Соціальний ризик під час аварії з пожежами та вибухами на зовнішній технологічній установці S (1/рік) визначається за формулою:

$$S = \sum_{i=1}^n Q(A_i), \quad (8)$$

де n – кількість сценаріїв, для яких виконується умова $N_i \geq N_0$;

N_i – кількість летальних випадків у результаті реалізації i -го сценарію (події);

N_0 – кількість летальних випадків, для якої оцінюють величину соціального ризику.

Вітчизняні експерти вважають, що для України ризик виникнення аварій безпосередньо залежить від трьох груп чинників і описується регресійним рівнянням [8]:

$$R = 6,77 - 0,56 \cdot x_1 - 0,43 \cdot x_2 - 0,27 \cdot x_3, \quad (9)$$

де x_1 – ефективність екологічної політики місцевих органів влади;

x_2 – капітальні вкладання в ресурсозберігаюче та природоохоронне устаткування;

x_3 – ефективність реалізації екологічних державних програм.

Ризик може бути визначений як частота (розмірність зворотна часові 1/с) або можливість (ймовірність) виникнення події (величина без розміру, лежить у межах $0 \div 1$).

Оцінити ризик можна як відношення кількості тих чи інших несприятливих наслідків (n) до їх імовірної кількості (N) за визначений період часу:

$$R = \frac{n}{N}, \quad (10)$$

де R – ризик несприятливих наслідків;

n – кількість несприятливих подій;

N – загальна кількість імовірних подій.

Кількісно величина ризику дорівнює частоті небажаних наслідків під час дії певного вигляду. За статистичними даними, ризик R за період часу t існування небезпеки протягом року із загальною тривалістю спостереження T визначається з урахуванням кількості небажаних наслідків n за період спостережень до їх можливої кількості

$$R = \frac{n}{N} \times \frac{t}{T}. \quad (11)$$

Перший співмножник відображає вірогідність виникнення небажаних наслідків за рік, а другий – відносну тривалість існування небезпеки протягом року. Одиниця вимірювання ризику – 1/рік (може бути 1/год та ін.). Також існує припустимий рівень ризику – це ймовірність події, негативними наслідками якої на даному етапі розвитку можна знехтувати. Розрізняють індивідуальний припустимий рівень ризику та соціальний припустимий рівень ризику.

Схему аналізу аварійного ризику, що включає всі основні процедури аналізу ризику, зображено на рис. 1 [15].

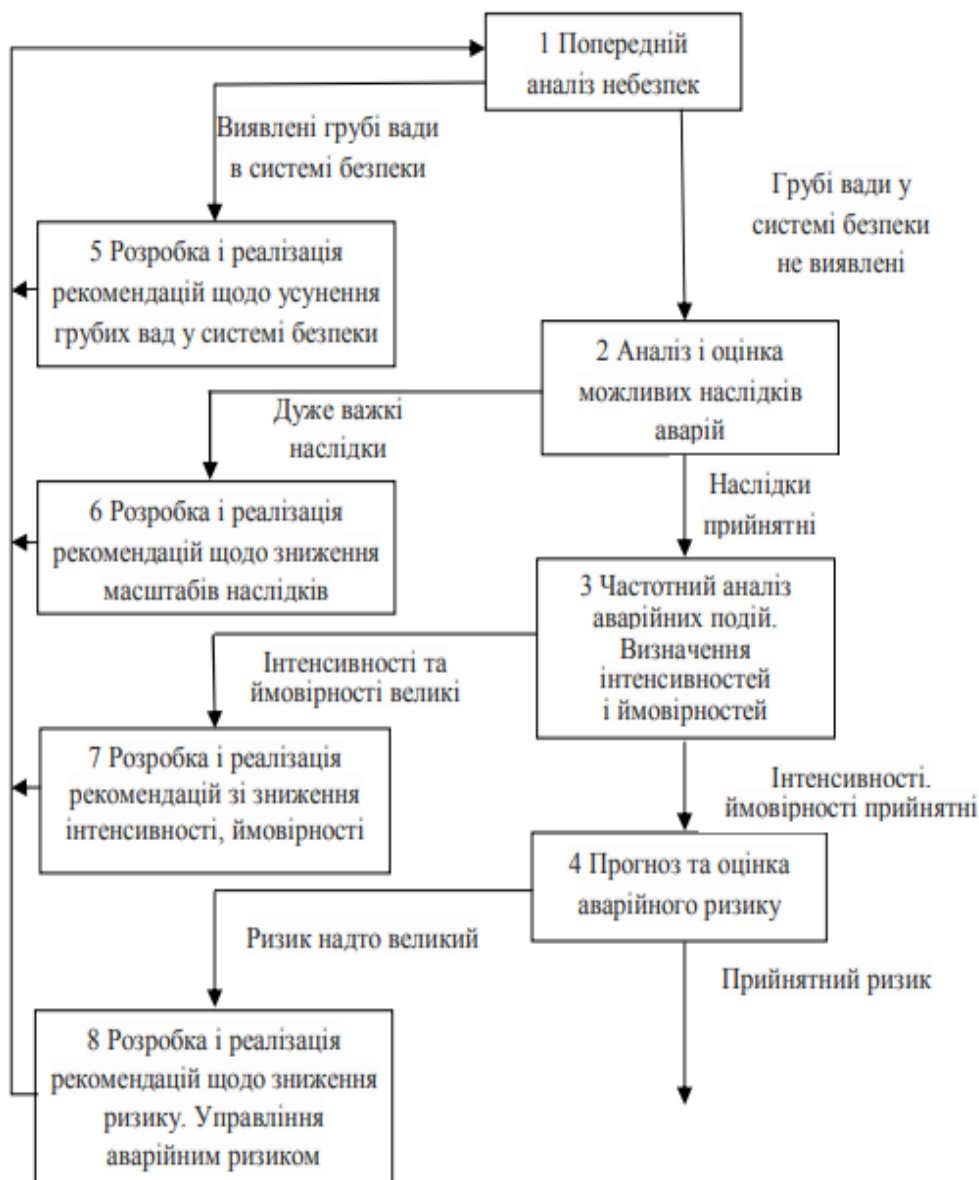


Рис. 1. Блок-схема аналізу аварійного ризику

У дослідженні [6] для усунення недоліків методик аналізу та оцінки ризиків пропонується використовувати нечітку логіку, застосування якої ефективно в таких випадках: недостатність знань про досліджувану систему; неможливість отримання необхідного обсягу інформації; інформація, що

ґрунтується на експертних даних, вхідні дані некоректно представлені або не досить точні. Для створення методики оцінки ризиків необхідно розробити експертну систему, яка була б реалізована у вигляді системи нечіткого виведення і уможлиблює визначати величину ризику на основі суб'єктивних оцінок усіх рівнів безпеки.

Механізм нечіткого виведення є основною ланкою в методиці отримання оцінки ризику. Системи нечіткого виведення призначені для перетворення значень вхідних змінних процесу управління у вихідні змінні на основі використання нечітких правил продукцій. Для цього системи нечіткого виведення мають містити базу правил нечітких продукцій і реалізовувати нечітке виведення висновків на основі посилянь або умов, представлених у формі нечітких лінгвістичних висловлювань.

В Україні порядок визначення ризику на об'єктах підвищеної небезпеки регламентується відповідною методикою [10], незважаючи на розроблену методику визначення ризику на всіх етапах його аналізу, потребує вдосконалення відповідно до предметної області.

Алгоритм виявлення, оцінки та зменшення техногенних ризиків.

У Рекомендаціях щодо побудови, впровадження та вдосконалення системи управління охороною праці запропоновано алгоритм виявлення, оцінки та зменшення ризиків виникнення небезпечних ситуацій на виробництві [11] в якому задані параметри нечіткі і формулюються в лінгвістичних термінах. Тому є необхідність модифікації заданого алгоритму із застосуванням відповідно до Методики методу експертного оцінювання та математичного апарату нечіткої логіки.

Рішення поставленої задачі було виконано за допомогою методів нечіткої логіки. Для моделювання системи використовується пакет Fuzzy Logic Toolbox – пакет розширення MATLAB, що містить інструменти для проектування систем нечіткої логіки. Використовуючи алгоритм нечіткого виведення Мамдані, були отримані оцінки ризику. Для оцінки ризиків необхідно задати вхідні змінні, якими є фактори ризику [6]. У дослідженні [6] система нечіткої логіки будується для конкретного вражаючого фактора – хлору, що звужує її можливості.

За вхідні змінні візьмімо фактори, які отримані в результаті дослідження предметної області, а саме:

- критерії надійності системи безпеки та запобігання виникненню аварій (НСБ), до яких можуть належати системи сигналізації, моніторингу, тощо;
- категорії наслідків витоку небезпечних хімічних речовин (*Кн*);
- ступінь фізичної зношеності основних виробничих фондів (*Зн*).

Тоді в загальному ризик є функцією від трьох змінних:

$$P = P (HCB, K_n, Z_n). \quad (12)$$

Кожна вхідна змінна оцінюється числом з інтервалу [0; 1]. За цією ж шкалою буде проведено також оцінку ступеня ризику. Це уможливить використовувати уніфіковану систему нечіткої логіки для будь-яких предметних областей.

Зазначені змінні є лінгвістичними. Сформулюємо для них термножину значень:

$HCB = \{\text{низька, задовільна, висока}\};$

$K_n = \{\text{категорія 1, категорія 2, категорія 3, категорія 4, категорія 5}\};$

$Z_n = \{\text{слабка, середня, сильна}\};$

$P = \{\text{висока, вище середньої, середня, нижче середньої, низька}\}.$

Для оцінки першої із вхідних змінних складемо таблицю критеріїв надійності системи безпеки життєдіяльності (табл. 1).

Таблиця 1

Критерії надійності системи безпеки

Надійність	Критерій	Шкала від 0 до 1
Низька	Система не відповідає необхідним умовам безпеки	0–0,45
Задовільна	Система, в цілому, відповідає вимогам безпеки, але потребує вдосконалення	0,45–0,75
Висока	Система, яка повністю інтегрована в процес діяльності підприємства, відповідає усім вимогам нормативних документів та стандартів	> 0,75

Для завдання функцій належності використовується трапеціодна і трикутна форма. Графічний інтерфейс редактора функцій належності після завдання вхідної змінної “надійність” зображено на рис. 2.

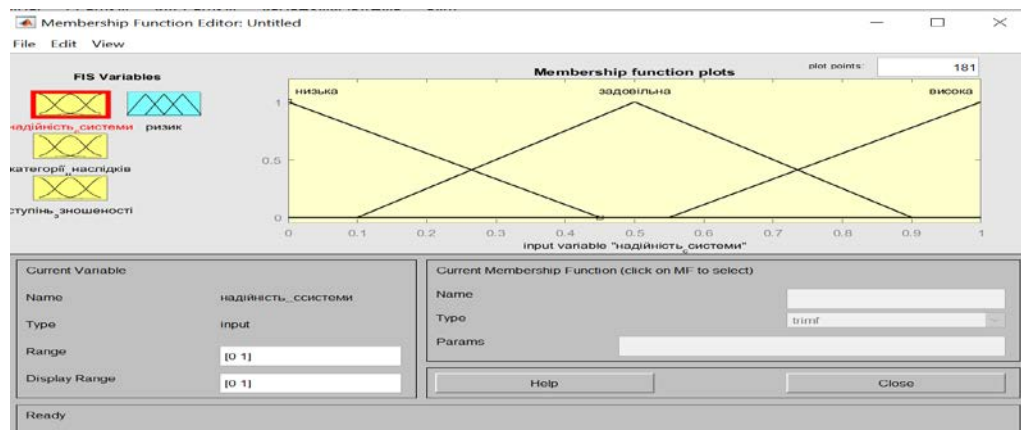


Рис. 2. Функції належності вхідної змінної “Надійність системи”
 В табл. 2 наведено категорії наслідків витоку небезпечних речовин.

Таблиця 2

Категорії наслідків витоку небезпечних речовин

Категорія	Критерій	Шкала від 0 до 1
Категорія 1	Концентрація небезпечних речовин не перевищує норму і в разі витоку не завдасть шкоди людям	0–0,12
Категорія 2	Концентрація НХР може досягати незначного перевищення норми на короткі проміжки часу підвищеної концентрації і в разі витоку тільки з малою вірогідністю завдасть лише незначних пошкоджень	0,12–0,37
Категорія 3	Концентрація не перевищує деякого порогового значення і в разі витоку завдасть лише незначних пошкоджень	0,37–0,62
Категорія 4	Концентрація не перевищує критичного значення і в разі витоку завдасть пошкодження матеріальним цінностям з низькою ймовірністю смертельного результату	0,62–0,87
Категорія 5	Концентрація перевищує гранично допустимий рівень і в разі витоку з високою ймовірністю (припустимо, 50 %) призведе до смертельних наслідків	0,87–1

Графічний інтерфейс редактора функцій належності категорій наслідків витоку небезпечних хімічних речовин зображено на рис. 3.

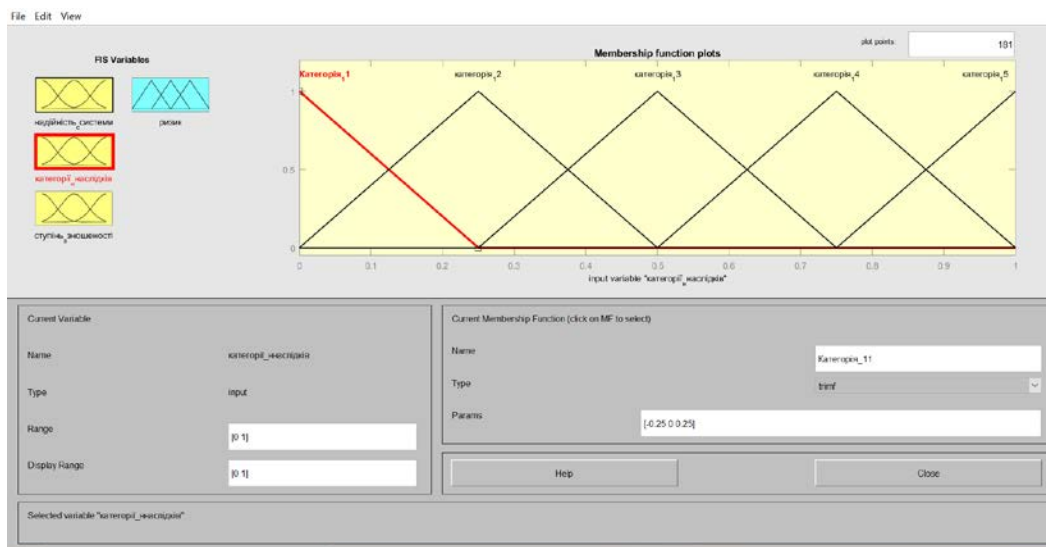


Рис. 3. Графічний інтерфейс редактора функцій належності “Категорій наслідків”

Розглянемо вхідну змінну “Ступінь фізичної зношеності основних виробничих фондів” (табл. 3). Графіки функцій належності зображено на рис. 4.

Таблиця 3

Категорія	Критерій	Шкала від 0 до 1 (0–100 %)
Слабка	Нове обладнання та устаткування (до закінчення гарантійного терміну)	До 0,25 (25 %)
Середня	Після закінчення гарантійного терміну, але робочий стан не призводить до порушень у технологічному процесі	Від 0,25–0,75 (25–75 %)
Сильна	Стан обладнання призводить до порушень технологічного процесу	Від 0,75–1 (75–100 %)

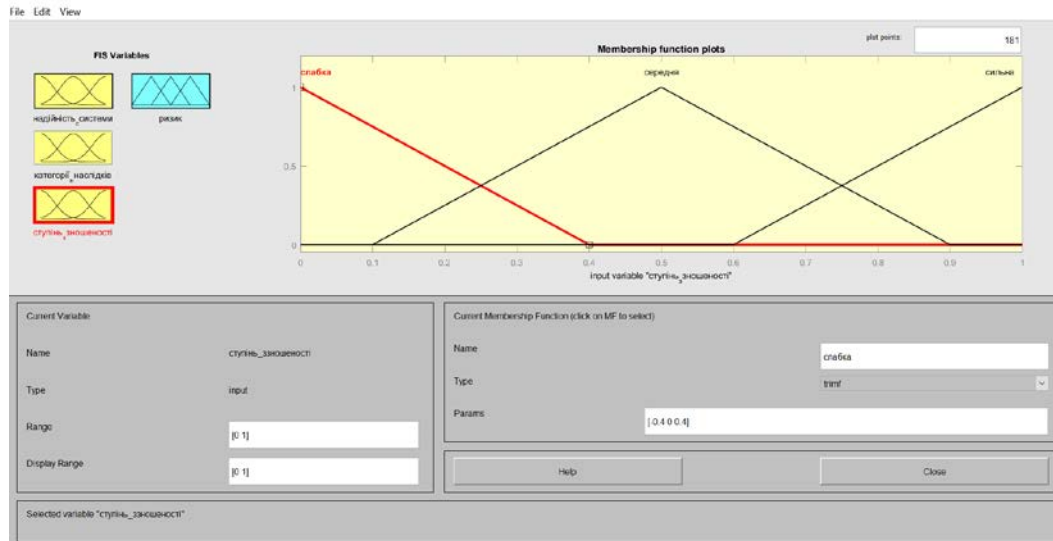


Рис. 4. Графіки функцій належності лінгвістичної змінної “Ступінь зношеності”

Вихідна змінна “ризик” була оцінена за такими параметрами (табл. 4).

Таблиця 4

Критерії ризиків

Категорія	Критерій
Високий	Є висока ймовірність смертельних випадків на заводі і прилеглий території
Вище середнього	Низька ймовірність смертельних випадків, але висока ймовірність шкоди
Середній	Залишається ймовірність легких пошкоджень для здоров'я
Нижче середнього	Немає ризику смерті або шкоди для здоров'я
Низький	Повна відсутність ризику

Для формування системи нечіткого виведення було складено 12 правил (формулюються з урахуванням результатів експертного аналізу):

1. Якщо <НАДІЙНІСТЬ Низька> і <НАСЛІДКИ ВИТОКУ відповідають Категорії 5>, і <СТУПІНЬ ЗНОШЕНОСТІ Середній>, тоді <Ризик високий>.

2. Якщо <НАДІЙНІСТЬ Середня> і <Наслідки витоків відповідають Категорії 5>, і <СТУПІНЬ ЗНОШЕНОСТІ Сильний>, тоді <Ризик Високий>.

3. Якщо <НАДІЙНІСТЬ Висока> і <НАСЛІДКИ ВИТОКУ> відповідають Категорії 5>, і <СТУПІНЬ ЗНОШЕНОСТІ Слабкий>, тоді <Ризик Середній>.

4. Якщо <НАДІЙНІСТЬ Низька> і <НАСЛІДКИ ВИТОКУ> відповідають Категорії 4>, і <СТУПІНЬ ЗНОШЕНОСТІ Слабкий>, тоді <Ризик Вище середнього>.

5. Якщо <НАДІЙНІСТЬ Середня> і <Наслідки витоку> відповідають Категорії 4>, і <СТУПІНЬ ЗНОШЕНОСТІ Слабкий>, тоді <Ризик Середній>.

6. Якщо <НАДІЙНІСТЬ Висока> і <Наслідки витоку> відповідають Категорії 4>, і <СТУПІНЬ ЗНОШЕНОСТІ Середній>, тоді <Ризик Низький>.

7. Якщо <НАДІЙНІСТЬ Низька> і <Наслідки витоку> відповідають Категорії 3>, і <СТУПІНЬ ЗНОШЕНОСТІ Слабкий>, тоді <Ризик Середній>.

8. Якщо <НАДІЙНІСТЬ Середня> і <Наслідки витоку> відповідають Категорії 3>, і <СТУПІНЬ ЗНОШЕНОСТІ Слабкий>, тоді <Ризик Нижче середнього>.

9. Якщо <НАДІЙНІСТЬ Висока> і <Наслідки витоку> відповідають Категорії 3>, і <СТУПІНЬ ЗНОШЕНОСТІ Середній>, тоді <Ризик Високий>.

10. Якщо <НАДІЙНІСТЬ Середня> і <Наслідки витоку> відповідають Категорії 2>, і <СТУПІНЬ ЗНОШЕНОСТІ Слабкий>, тоді <Ризик Нижче середнього>.

11. Якщо <НАДІЙНІСТЬ Висока> і <Наслідки витоку> відповідають Категорії 2>, і <СТУПІНЬ ЗНОШЕНОСТІ Слабкий>, тоді <Ризик Низький>.

12. Якщо <Наслідки витоку> відповідають Категорії 1>, тоді <Ризик Низький>.

Нечітка поверхня зображена на рис. 6.

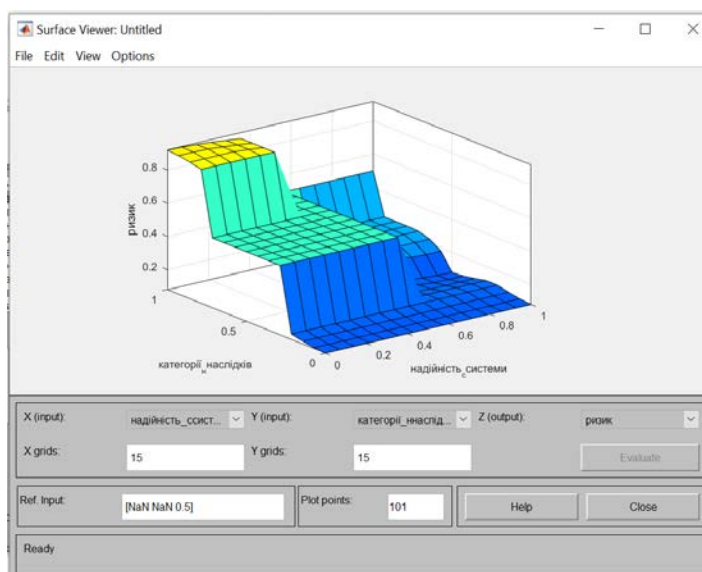


Рис. 6. Поверхня нечіткої системи логічного висновку

Припустімо, що комісія експертів, вивчивши операційну діяльність заводу, оцінила наслідки витоку ризику в 87 (0,87) балів зі 100, що відповідає категорії 4, надійність системи безпеки була оцінена в 20 (0,2) балів зі 100, що потрапляє в клас низької надійності системи, а ступінь зношеності коефіцієнтом 0,2. Відповідно до сформульованих правил, а також застосовуючи алгоритм нечіткого висновку Мамдані, була отримана вихідна оцінка ризику, що дорівнює 0,635 балів (рис. 7).

Підбиваючи підсумок, алгоритм визначення ризику настання аварійної ситуації можна подати такою послідовністю кроків:

1-й етап: виявлення можливості виникнення небезпечних ситуацій під час здійснення виробничої діяльності з урахуванням їх можливих дій. Процедура передбачає всебічний розгляд технологічного процесу з погляду безпечності та нешкідливості з урахуванням усіх аспектів та виявлення шкідливих і небезпечних виробничих факторів, які існують у виробничому середовищі й можуть призвести до небезпечної події.



Рис. 7. База правил

2-й етап: визначення ступеня базового ризику виникнення небезпечних ситуацій. Ступінь базового ризику виникнення небезпечної ситуації визначається за побудованою системою нечіткого логічного висновку типу Мамдані з трьома входами і одним виходом.

3-й етап: на основі визначеного на попередньому етапі ризику розробка плану заходів відповідно до табл. 5.

План заходів відповідно до ступеня ризику

Ступінь ризику	Коментарі
Екстремальний (55–75)	Потребує невідкладних дій вищого керівництва із обов'язковим складанням плану заходів та призначенням відповідальних осіб. За необхідності – зупинка ведення робіт
Високий (25–54)	Потребує уваги вищого керівництва. Терміново поінформувати працівників та їх безпосередніх керівників, керівника відповідного підрозділу та начальника служби охорони праці. Вжити заходів щодо забезпечення безпеки працівників
Середній (10–24)	Поінформувати працівників та безпосередніх керівників, керівника відповідного підрозділу та начальника служби охорони праці. Вжити заходів щодо зменшення ризику
Низький (1–9)	Здійснюється управління шляхом виконання наявних процедур. Не потребує додаткових ресурсів. Поінформувати керівника підрозділу та начальника служби охорони праці після закінчення робіт щодо визначення ступеня ризику

4-й етап: після впровадження запланованих заходів необхідно провести оцінку залишкового ризику. Слід визначити, чи став припустимим ступінь ризику виникнення небезпечної ситуації, тобто чи досягли впроваджені заходи очікуваного ефекту.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі. У статті проаналізовано існуючі методики визначення ризику, виділено необхідні етапи визначення ступенів ризику виникнення аварійних ситуацій.

Розглянуто алгоритм виявлення оцінки та зменшення ризиків виникнення небезпечних ситуацій на виробництві в рамках удосконалення системи управління охороною праці, які розроблені з метою сприяння суб'єкту господарювання щодо досягнення рівня охорони праці на виробництві, що відповідає мінімальним вимогам до забезпечення безпечних та здорових умов праці найманих працівників, які встановлені законодавчими та іншими нормативно-правовими актами з охорони праці.

На основі способів та методів визначення ризиків було розроблено метод визначення ступенів ризику виникнення аварійних ситуацій на підприємствах. Запропонований метод орієнтовано на хімічні виробництва, які

працюють з хімічними речовинами, що можуть створювати загрозу навколишньому середовищу та життю людей.

Метод базується на теорії нечітких множин і понятті лінгвістичної змінної. Такий підхід дає можливість адаптувати його до будь-яких виробництв шляхом зміни критеріїв і назв вхідних змінних.

Визначення ступеня ризику будь-якого виробництва уможливило сформуванню відповідний до ступеня ризику комплекс дій, спрямованих на запобігання виникненню аварійних ситуацій.

Список використаних джерел:

1. Бікулова М. А. Аналіз ризиків виникнення надзвичайної ситуації на підприємствах нафтопереробки // Молодий вчений. 2019. № 51 (289). С. 223–228.
2. Дранишников Л. В. Оцінка ризиків виникнення надзвичайних ситуацій при розгерметизації ємностей зріджених вуглеводневих газів // Збірник наукових праць Дніпровського державного технічного університету. Технічні науки. 2019. Вип. 2. С. 114–120.
3. Хміль Г. Комплексна оцінка техногенної та природної безпеки України в регіональному вимірі // Надзвичайна ситуація. 2005. № 5. С. 52–55.
4. Іванець Г. В. Аналіз стану техногенної, природної та соціальної небезпеки адміністративно-територіальних одиниць України на основі моніторингу // Збірник наукових праць Харківського університету повітряних сил. 2016. Вип. 3 (48). С. 142–145.
5. Белов П. Г. Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере. Москва : Академия, 2003. 512 с.
6. Дранишников Л. В., Сугаль Є. О. Оцінка зовнішнього ризику за допомогою нечіткої логіки // Математичне моделювання. 2017. № 2. С. 63–66.
7. Ткаченко І. О. Ризики у транспортних процесах: навч. посібник / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. 114 с.
8. Стищенко Т. Є., Пронюк Г. В., Сердюк Н. М., Хондак І. І. Безпека життєдіяльності: навч. посібник. Харків: ХНУРЕ, 2018. 336 с.
9. Дранишников Л. В. Інформаційний аналіз аварійного ризику об'єктів підвищеної небезпеки // Збірник наукових праць Дніпровського державного технічного університету. Технічні науки. 2017. Вип. 1. С. 137–143.
10. Методика визначення ризиків та їх прийнятних рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки. Затверджено наказом Міністерства праці та соціальної політики України 04.12.2002 № 637. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0637203-02#Text>
11. Рекомендації щодо побудови, впровадження та удосконалення системи управління охороною праці. Державний Комітет України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/n0001641-08#Text>

References:

1. Bikulova M. A. (2019). Analiz ryzykiv vynyknennia nadzvychainoi sytuatsii na pidpriemstvakh naftopererobky. *Molodyi vchenyi*, (№ 51(289), 223–228 [in Ukrainian].
2. Dranyshnykov L. V. (2019). Otsinka ryzykiv vynyknennia nadzvychainykh sytuatsii pry rozghermetyzatsii yemnostei zridzhenykh vuhlevodnevykh haziv. *Zbirnyk naukovykh prats Dniprovskoho derzhavnogo tekhnichnogo universytetu. Tekhnichni nauky*. (Vyp. 2.), 114–120 [in Ukrainian].
3. Khmil H. (2005). Kompleksna otsinka tekhnohennoi ta pryrodnoi bezpeky Ukrainy v rehionalnomu vymiri. *Nadzvychaina sytuatsiia*, (№ 5), 52–55. [in Ukrainian].
4. Ivanets H. V. (2016). Analiz stanu tekhnohennoi, pryrodnoi ta sotsialnoi nebezpeky administratyvno-terytorialnykh odynyt Ukrainy na osnovi monitoryngu. *Zbirnyk naukovykh prats Kharkivskoho universytetu Povitrianykh Syl*, (vyp. 3(48), 142–145 [in Ukrainian].
5. Belov P. G. (2003). *Sistemnyj analiz i modelirovanie opasnykh processov v tehnosfere*. Moskva: Akademiya [in Russian].
6. Dranyshnykov L. V., Suhail Ye. O. (2017). Otsinka zovnishnogo ryzyku za dopomohoiu nechitkoi lohiky. *Matematychni modeliuvannia*, (№ 2), 63–66 [in Ukrainian].
7. Tkachenko I. O. (2017). *Ryzyky u transportnykh protsesakh: navchalnyi osibnyk*. Kharkiv: Natstsionalnyi universytet miskoho hospodarstvava im. O. M. Beketova [in Ukrainian].
8. Stytsenko T. Ie., Proniuk H. V., Serdiuk N. M., Khondak I. I. (2018). «Bezpeka zhyttiediialnosti»: navchalnyi posibnyk. Kharkiv: KhNURE [in Ukrainian].
9. Dranyshnykov L. V. (2017). Informatsiinyi analiz avariinoho ryzyku obiektiv pidvyshchenoi nebezpeky. *Zbirnyk naukovykh prats Dniprovskoho derzhavnogo tekhnichnogo universytetu. Tekhnichni nauky*. (Vyp. 1), 137–143 [in Ukrainian].
10. *Metodyka vyznachennia ryzykiv ta yikh pryiniatnykh rivniv dlia deklaruvannia bezpeky obiektiv pidvyshchenoi nebezpeky. Zatverdzheno Nakazom Ministerstva pratsi ta sotsialnoi polityky Ukrainy 04.12.2002. № 637*. (2002). Vylucheno: URL : <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0637203-02#Tex> [in Ukrainian].
11. *Rekomendatsii shchodo pobudovy, vprovadzhennia ta udoskonalennia systemy upravlinnia okhoronoiu pratsi. Derzhavnyi Komitet Ukrainy z promyslovoi bezpeky, okhorony pratsi ta hirnychoho nahliadu*. (2008). Vylucheno URL : <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/n0001641-08#Text> [in Ukrainian].