

МЕТОДИ АНАЛІЗУ РИЗИКІВ В ЕКОЛОГІЇ

Abstract. This paper reviews the domestic and foreign risk analysis methods for the environment and public health from natural and anthropogenic factors. Done classification. Defined their main advantages and disadvantages.

Актуальність

Останніми роками актуальною проблемою став аналіз і прогноз негативних змін якості оточуючого середовища в результаті природних і антропогенних дій. При цьому виникає необхідність, з одного боку, кількісної оцінки ймовірності виникнення процесів і явищ, що знижують якість навколишнього середовища, а з другого боку, кількісної оцінки можливих збитків від їх прояву.

У основі оцінки таких наслідків лежить методологія аналізу та управління ризиками впливу різних факторів на біосферу та здоров'я населення в цілях збільшення обґрунтованості прийняття управлінських рішень в області екологічної безпеки.

Постановка задачі

Для забезпечення екологічної безпеки на певній території (район, місто, держава тощо), відповідним управлінським органам на початковому етапі потрібно виконати аналіз ризиків для навколишнього середовища та населення, що виникають під впливом природних чи антропогенних факторів.

В даній статті здійснюється аналіз та порівняння основних вітчизняних та закордонних методів аналізу ризиків, які відрізняються методологічним підходом, цілями та завданням аналізу, математичним апаратом тощо.

Вирішення задачі

Аналіз ризику – систематичне отримання і використання наявної інформації для ідентифікації небезпек і визначення величини ризику для однієї людини, населення та навколишнього природного середовища.

Аналіз ризиків не дає єдиної формули чи алгоритму оцінки ризику, він лише пропонує методологічний підхід, за допомогою якого розкривається можливість вченим та особам, які приймають рішення, ідентифікувати, оцінювати та зменшувати ризики, пов'язані з впливом факторів природного чи антропогенного характеру [2].

Методологія аналізу ризиків дозволяє побудувати "шкалу", за допомогою якої, можна проводити оцінки та порівняння впливу на навколишнє середовище та здоров'я людини несприятливих факторів.

Оцінювання ризику є одним із основних етапів його аналізу, який

передбачає визначення ймовірності виникнення аварій або надзвичайних ситуацій та можливих їхніх наслідків для здоров'я людей, майна і навколишнього середовища [5].

Загальна структура аналізу та оцінювання ризику в природно-техногенній системі представляє собою послідовність таких етапів [4, 6]:

- обґрунтування цілей і завдань аналізу й оцінювання ризику;
- аналіз системних особливостей природно-техногенної системи;
- ідентифікація всіх джерел небезпеки;
- визначення подій, що можуть ініціювати виникнення аварій та надзвичайних ситуацій;
- формування ймовірних сценаріїв розвитку аварій;
- оцінювання ймовірності (частоти) виникнення негативних подій;
- обґрунтування фізико-математичних моделей, розрахунок просторово-часового перенесення і прогнозування масштабів можливих наслідків аварій для населення і територій за різними сценаріями розвитку аварій;
- оцінювання ймовірностей впливу зовнішніх чинників, які не залежать від умов експлуатації промислового об'єкта;
- розрахунок можливих прямих і непрямих збитків від аварій на об'єктах;
- аналіз структури ризику та кількісна оцінка ризику;
- побудова полів потенційного ризику навколо кожного виділеного джерела небезпеки;
- визначення достатності превентивних заходів для забезпечення стійкості об'єкта до зовнішніх впливів;
- визначення пріоритетних заходів зі зниження ризику виникнення аварій і надзвичайних ситуацій.

На рис. 1 показано класифікацію основних методів аналізу ризику, які використовуються у світовій практиці управління ризиками різної природи.

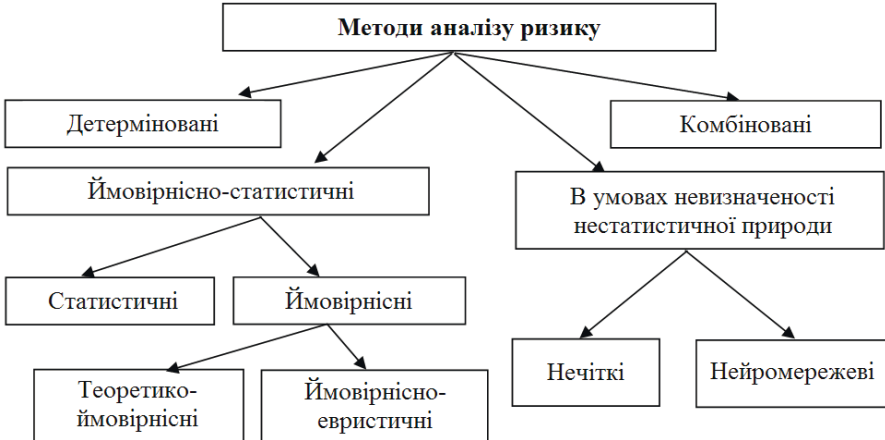


Рис. 1. Класифікація методів аналізу ризику

Детерміновані методи передбачають аналіз етапів розвитку аварій, починаючи від вихідної події через послідовність передбачуваних відмов до усталеного кінцевого стану. Хід аварійного процесу вивчається і передбачається за допомогою математичних імітаційних моделей. Недоліками методу є: потенційна можливість упустити важливі ланцюжки розвитку аварій, що рідко реалізуються; складність побудови достатньо адекватних математичних моделей; необхідність проведення складних і коштовних експериментальних досліджень.

Ймовірно-статистичні методи аналізу ризику передбачають як оцінку ймовірності виникнення аварії, так і розрахунок відносних ймовірностей того чи іншого шляху розвитку процесів. При цьому аналізуються розгалужені ланцюжки подій і відмов, вибирається відповідний математичний апарат і оцінюється повна ймовірність аварії. Розрахункові математичні моделі при цьому можна істотно спростити порівняно з детермінованими методами. Основні обмеження методу пов'язані з недостатньою статистикою по відмовах обладнання. Крім того, застосування спрощених розрахункових схем знижує достовірність одержуваних оцінок ризику для важких аварій. Тим не менш, ймовірнісний метод в даний час вважається одним з найбільш перспективних. На його основі побудовані різні методики оцінки ризиків, які залежно від наявної вихідної інформації поділяються на:

- статистичні, коли ймовірності визначаються за наявними статистичними даними;
- теоретико-ймовірнісні, які використовуються для оцінки ризиків від рідкісних подій, коли статистика практично відсутня;
- ймовірно-евристичні, засновані на використанні суб'єктивних ймовірностей, одержуваних за допомогою експертного оцінювання. Використовуються при оцінці комплексних ризиків від сукупності небезпек, коли відсутні не тільки статистичні дані, але і математичні моделі (або їх точність занадто низька).

Методи аналізу ризику в умовах невизначеності нестатистичної природи призначені для опису невизначеності джерела ризику – потенційно небезпечних об'єктів (ПНО), пов'язаних з відсутністю або неповнотою інформації про процеси виникнення і розвитку аварії; людськими помилками; припущеннями застосовуваних моделей для опису розвитку аварійного процесу.

Всі перераховані вище методи аналізу ризику класифікують за характером вихідної і результуючої інформації на якісні та кількісні.

Методи кількісного аналізу ризику характеризуються розрахунком показників ризику. Проведення кількісного аналізу вимагає високої кваліфікації виконавців, великого обсягу інформації по аварійності, надійності обладнання, врахування особливостей навколишньої місцевості, метеоумов, часу перебування людей на території та поблизу об'єкта, щільності населення та інших факторів.

Складні і дорогі розрахунки часто дають значення ризику, точність

якого невелика. Для небезпечних виробничих об'єктів точність розрахунків індивідуального ризику, навіть у разі наявності всієї необхідної інформації, не вище одного порядку. При цьому проведення кількісної оцінки ризику більш корисно для порівняння різних варіантів (наприклад, розміщення обладнання), ніж для висновку про ступінь безпеки об'єкта. Зарубіжний досвід показує, що найбільший обсяг рекомендацій щодо забезпечення безпеки виробляється із застосуванням якісних методів аналізу ризику, що використовують менший обсяг інформації та витрат праці. Однак кількісні методи оцінки ризику завжди дуже корисні, а в деяких ситуаціях - єдино допустимі для порівняння небезпек різної природи і при експертизі небезпечних виробничих об'єктів [1, 5, 6].

До *детермінованих* відносять наступні методи:

- *якісні*: метод перевірного листа (Check-list); "Що буде якщо?" (What - If); попередній аналіз безпеки (Process Hazard and Analysis) (PHA); "Аналіз видів відмов і наслідків" (АВВН) (Failure Mode and Effects Analysis) (FMEA); аналіз помилкових дій (Action Errors Analysis) (AEA); концептуальний аналіз ризику (Concept Hazard Analysis) (CHA); концептуальний огляд безпеки (Concept Safety Review) (CSR); аналіз людських помилок (Human Hazard and Operability) (Human HAZOP); аналіз впливу людського фактора (Human Reliability Analysis) (HRA) і помилки персоналу (Human Errors or Interactions) (HEI); метод логічного аналізу.

- *кількісні*: методи, засновані на розпізнаванні образів (кластерний аналіз); ранжування (експертні оцінки); методика визначення та ранжування ризику (Hazard Identification and Ranking Analysis) (HIRA); аналіз виду, наслідків та критичності відмови (АВНKB) (Failure Mode, Effects and Critical Analysis) (FMECA); методика аналізу ефекту доміно (Methodology of domino effects analysis); методика визначення та оцінки потенційного ризику (Methods of potential risk determination and evaluation)); кількісне визначення впливу на надійність людського фактора (Human Reliability Quantification) (HRQ).

До *ймовірнісно-статистичних* методів відносяться:

- статистичні *якісні* методи: карти потоків;
- *кількісні* методи: контрольні карти.

До *теоретико-ймовірнісних* методів належать:

- *якісні*: причини послідовності нещасних випадків (Accident Sequences Precursor) (ASP);

- *кількісні*: аналіз дерев подій (АДП) (Event Tree Analysis) (ETA); аналіз дерев відмов (АДВ) (Fault Tree Analysis) (FTA); оцінка ризику мінімальних шляхів від ініціюючої до основної події (Short Cut Risk Assessment) (SCRA); дерево рішень; ймовірнісна оцінка ризику ПНО.

До *ймовірнісно-евристичних* методів належать:

- *якісні*: метод експертного оцінювання, метод аналогій;
- *кількісні*: метод бальних оцінок, метод суб'єктивних ймовірностей оцінки небезпечних станів, метод узгодження групових оцінок і т.п.

Ймовірно-евристичні методи використовуються при нестачі статистичних даних і у випадку рідкісних подій, коли можливості застосування точних математичних методів обмежені через відсутність достатньої статистичної інформації про показники надійності і технічних характеристик систем, а також через відсутність надійних математичних моделей, що описують реальний стан системи. Ймовірно-евристичні методи ґрунтуються на використанні суб'єктивних ймовірностей, одержуваних за допомогою експертного оцінювання.

Виділяють два рівня використання експертних оцінок: якісний і кількісний. На якісному рівні визначаються можливі сценарії розвитку небезпечної ситуації через відмову системи, вибір остаточного варіанта рішення тощо. Точність кількісних (бальних) оцінок залежить від наукової кваліфікації експертів, їх здібностей оцінювати ті чи інші стани, явища, шляхи розвитку ситуації. Тому при проведенні експертних опитувань для вирішення завдань аналізу та оцінки ризику необхідно використовувати методи узгодження групових рішень на основі коефіцієнтів конкордації; побудови узагальнених ранжировок за індивідуальними ранжировками експертів з використанням методу парних порівнянь та інші. Для аналізу різних джерел небезпеки хімічних виробництв методи на основі експертних оцінок можуть використовуватися для побудови сценаріїв розвитку аварій, пов'язаних з відмовами технічних засобів, обладнання та установок; для ранжирування джерел небезпеки [3, 5].

До методів аналізу ризику в умовах невизначеності нестатистичної природи відносяться:

- *нечіткі якісні*: метод аналізу небезпеки і працездатності (АНП) (Hazard and Operability Study) (HAZOP) і методи, засновані на розпізнаванні образів (нечітка логіка);
- *нейромережеві* методи прогнозування відмов технічних засобів і систем, технологічних порушень і відхилень станів технологічних параметрів процесів; пошуку управляючих впливів, спрямованих на запобігання виникнення аварійних ситуацій, та ідентифікації передаварійних ситуацій на ПНО.

Відмітимо, що аналіз невизначеності у процесі оцінки ризику – це переведення невизначеності вихідних параметрів і припущень, використаних при оцінці ризику, в невизначеності результатів.

Комбіновані методи поєднують різні комбінації детермінованих і ймовірнісних, імовірнісних і нечітких, детермінованих і статистичних та інших методів.

Розрізняють наступні комбіновані методи:

- *якісні*: аналіз максимальної можливості виникнення нещасного випадку (Maximum Credible Accident Analysis) (MCAA); блок-схема надійності (Reliability Block Diagram) (RBD); аналіз безпеки (Safety Analysis) (SA); аналіз надійності структури (Structural Reliability Analysis) (SRA);

таблиці станів і аварійних поєднань; логіко-графічні методи аналізу ризику.

- *кількісні*: повний аналіз ризику – методика оптимального аналізу ризику (Optimum Risk Analysis) (ORA); метод організованого систематичного аналізу ризику (Method Organised Systematic Analysis of Risk) (MOSAR); кількісна оцінка ризику (Quantitative Risk Assessment) (QRA) і деякі інші.

Методи застосовуються залежно від стадії аналізу ризику та цілей дослідження. На стадії ідентифікації небезпек рекомендується використовувати один або декілька з якісних ("Що буде, якщо ...?", перевірочний лист, їх комбінацію, АБВН, АНП) або кількісних (АДВ, АДП) методів аналізу ризику.

Методи можуть застосовуватися незалежно або в доповнення один до одного, причому, якісні методи можуть включати кількісні критерії ризику (в основному, за експертними оцінками з використанням, наприклад, матриці «ймовірність-тяжкість наслідків» ранжирування небезпеки). Повний кількісний аналіз ризику може включати всі зазначені методи або деякі з них. Прикладами комбінованих методів повного кількісного аналізу ризику є методика оптимального аналізу ризику – Optimum Risk Analysis (ORA).

Розглянемо більш детально деякі найбільш розповсюджені методи аналізу ризику.

Методи *перевірочного листа* і «Що буде, якщо ...?» відносяться до якісних методів оцінки небезпеки, засновані на вивченні відповідності умов експлуатації об'єкта або проекту чинним вимогам промислової безпеки. Вони дають уявлення про відхилення від норми і можуть служити основою для кількісних методів аналізу, дозволяють виробити управлінські дії не тільки з боку системи контролю та управління безпекою, а й внести корективи в технологічний процес або модернізувати систему. Метод використовує проміжні ознаки стану системи і сприяє запобіганню небезпечних подій. Результат перевірочного листа – перелік питань і відповідей про відповідність досліджуваної системи вимогам безпеки і вказівки щодо забезпечення безпеки. Метод перевірочного листа відрізняється від методу «Що буде, якщо ...?» більш обширнішим поданням вихідної інформації та результатів про наслідки порушень безпеки. Методи недрогі і найбільш ефективні при дослідженні безпеки добре вивчених об'єктів з відомою технологією або об'єктів з незначним ризиком великих аварій.

Попередній аналіз небезпеки являє собою індуктивний метод досліджень, завданням якого є ідентифікація небезпек, небезпечних ситуацій та подій, які можуть заподіяти шкоду деякій діяльності або системі. Найчастіше його прийнято проводити на ранній стадії розробки проекту промислового об'єкта, коли інформації по структурі, конструкції, деталям і робочим процедурам дуже мало. Даний метод може виявитися корисним також у тих випадках, коли аналізуються існуючі системи або встановлюються пріоритети небезпек, де обставини перешкоджають використанню більш обширної сукупності технічних прийомів.

При проведенні РНА виробляється перелік небезпек і небезпечних ситуацій загального характеру за допомогою розгляду наступних факторів:

- а) матеріали, що використовуються або виробляються, та їх здатність вступати в реакції;
- б) устаткування, що застосовується;
- в) умови навколишнього середовища;
- г) схема розташування;
- д) області контакту і взаємодії між компонентами системи і т.д.

Реалізація даного методу завершується визначенням сценаріїв аварії, якісною оцінкою можливої шкоди або шкоди здоров'ю, яка могла би бути нанесена, та ідентифікацією можливих коригувальних впливів. Отримані результати можуть бути представлені у вигляді таблиць і „дерев”.

Аналіз виду і наслідків відмов розглядає всі види відмов по кожному елементу. Застосовується для якісної оцінки безпеки технічних систем, орієнтованих на апаратуру і механічні системи, простий для розуміння, не вимагає застосування математичного апарату. Такий аналіз дозволяє встановити необхідність внесення змін у конструкцію і оцінити їх вплив на надійність системи.

Метод полягає в послідовному розгляді елементів, аналізі всіх можливих видів відмов або аварійних ситуацій та виявленні їх результуючих впливів на систему.

Методи логічного аналізу базуються на поняттях булевої алгебри (алгебри логіки). Ці методи застосовують для аналізу ризику різних класів ХНО (періодичних і неперервних хімічних виробництв, технологічного обладнання з небезпечними хімічними речовинами). Логічні моделі являють собою формалізований опис всіх одночасних, послідовних і одночасно-послідовних аварійних подій, що відбуваються в хіміко-технологічній системі в результаті виникнення і розвитку аварійної ситуації. При розробці логічних моделей аналізу ризику проводиться встановлення причинно-наслідкових взаємозв'язків різних сценаріїв розвитку аварійних ситуацій з виникаючими від них видами ризиків.

Метод аналіз виду, наслідків та критичності відмови. У цьому методі кожен вид відмови ранжирується з урахуванням двох складових критичності – ймовірності (або частоти) і тяжкості наслідку відмови. Поняття критичності близько до поняття ризику і може бути використане при більш детальному кількісному аналізі ризику аварії. Визначення параметрів критичності необхідно для вироблення пріоритетних заходів забезпечення безпеки. Результати аналізу представляються у вигляді таблиць з переліком обладнання, видом і причин можливих відмов, частотою, наслідками, критичністю, засобами виявлення несправності та рекомендаціями щодо зменшення небезпеки.

У результаті використання методу рекомендуються показники (індекси) рівня і критерії критичності по ймовірності та тяжкості наслідку відмови (події). При аналізі виділяють чотири групи, яким може бути завдано шкоди від аварії: персонал, населення, навколишнє середовище, матеріальні об'єкти.

Метод АВНКВ є доволі спрощеним. Згідно нього критичність відмови

визначається як добуток трьох складових, виражених в шкалах від 1 до 10 і які характеризують ймовірність виникнення аварійної ситуації, тяжкість її наслідків та ймовірність усунення причини аварійної ситуації. Недоліком методу є відсутність поняття «ваги оцінки» в результаті чого відмови із малими ймовірностями виникнення і важкими наслідками і відмови з високими ймовірностями виникнення і незначними наслідками мають однакову оцінку критичності, тобто загальна оцінка критичності відмови не дає реальної картини того, що відбувається.

Методи АВВН (FMEA) і АВНКВ (FMECA) можуть використовуватися не тільки для технічних систем, а й для оцінки людських помилок. Вони можуть використовуватися як для ідентифікації небезпеки, так і для оцінки ймовірності (при обмеженому рівні надмірності в системі). Більш докладно методи FMEA і FMECA представлені в МЕК 60812: 1985 Техніка аналізу надійності систем. Метод аналізу виду і наслідків відмов (FMEA).

До ймовірнісних кількісних методів аналізу ризику відносяться дерева відмов і подій, мінімальних шляхів, дерева рішень.

Логико-графічні методи аналізу "дерев відмов і подій" призначені для виявлення причинно-наслідкових зв'язків між комбінацією випадкових локальних подій, що виникають з різною частотою на різних стадіях аварії (відмови устаткування, людські помилки, зовнішні впливи, руйнування, викид, пролив речовини, розсіювання речовин, займання, вибух, інтоксикація і т.д.).

При *аналізі дерев відмов* (FTA) виявляються комбінації відмов (несправностей) устаткування, помилок персоналу та зовнішніх (техногенних, природних) впливів, що призводять до основної події (аварійної ситуації). Метод використовується для аналізу можливих причин виникнення аварійної ситуації та розрахунку її частоти (на основі знання частот вихідних подій). Аналіз „дерева відмов” дозволяє виділити гілки проходження сигналу до головного і використовується головним чином для виявлення „слабких” місць і визначення найбільш ефективних заходів попередження аварії.

Головна перевага методу дерева відмов полягає в тому, що аналіз обмежується виявленням тільки тих елементів системи та подій, які призводять до даної конкретної відмови системи або аварії.

Більш докладно метод викладений у МЕК 61025: 1990 Аналіз діагностичного дерева відмов (FTA).

Аналіз дерев подій (ETA) - алгоритм побудови послідовності подій, що виходять з основної події (аварійної ситуації). Метод використовується для аналізу розвитку аварійної ситуації. Частота кожного сценарію розвитку аварійної ситуації розраховується шляхом множення частоти основної події на умовну ймовірність кінцевої події (наприклад, аварії з розгерметизацією, із займанням). Результатом оцінки ризику є перелік результатів для кожного розглянутого випадку; при цьому розраховуються частота і наслідки, тобто величини очікуваних наслідків.

Методи дерев відмов і подій є трудомісткими і застосовуються, як

правило, для аналізу проектів або модернізації складних технічних систем і виробництв.

Методи мінімальних шляхів від ініціюючих до основної події (Short Cut Risk Assessment) (SCRA) розглянуті в зарубіжній і вітчизняній літературі. Дані методи визначають мінімальні аварійні поєднання і мінімальну траєкторію для побудови дерева. Первинні та неподільні події з'єднуються з подіями першого рівня маршрутами (гілками). Складне дерево має різні набори вихідних подій, при яких досягається подія у вершині, вони називаються аварійними поєднаннями (перетинами) або сукупностями подій, що перериваються. Мінімальним аварійним поєднанням (МАП) називають найменший набір вихідних подій, при яких може виникнути аварія. Мінімальна траєкторія – найменша група подій, при появі яких відбувається аварія.

Дерево рішень представляє собою різновид дерева подій. У дереві рішень всі можливі стани системи необхідно виразити через стани елементів. Таким чином, всі стани системи взаємно ув'язані, і їх ймовірність в сумі повинна дорівнювати одиниці. Дерева рішень можуть використовуватися, якщо відмови всіх елементів незалежні або є елементи з кількома можливими станами.

Метод аналізу небезпеки і працездатності (АНП) (Hazard and Operability Study – HAZOP) досліджує впливи відхилень технологічних параметрів (температури, тиску тощо) від регламентних режимів з точки зору виникнення небезпеки, і відноситься до якісних методів, які оперують нечіткими поняттями. АНП за складністю та якістю результатів відповідає рівню методів АВВН, АВНКВ. У ряді робіт даний метод може мати назви «Метод вивчення небезпеки і функціонування», «Метод послідовної експертизи», «Метод ключових слів».

У процесі аналізу для кожної виробничої лінії і блоку визначаються можливі відхилення, причини та рекомендації щодо їх недопущення. При характеристиці відхилення використовуються ключові слова «ні», «більше», «менше», «так само як», «інший», «інакше ніж», «зворотний» і т.п. Конкретне поєднання цих слів з технологічними параметрами визначається специфікою виробництва. Застосування методу дозволяє виявити всі можливі відхилення.

Результати аналізу представляються на спеціальних технологічних листах (таблицях). Ступінь небезпеки відхилень може бути визначена кількісно шляхом оцінки ймовірності та тяжкості наслідків ситуації, що розглядається, за критеріями критичності аналогічно методу АВНКВ. Метод АНП, також як і АВНКВ, крім ідентифікації небезпек та їх ранжирування дозволяє виявити неясності і неточності в інструкціях з безпеки і сприяє їх подальшому вдосконаленню. Недоліки методів пов'язані з ускладненням їх застосування для аналізу комбінацій подій, що призводять до аварії.

До *комбінованих якісних методів* аналізу ризику віднесені логіко-графічні моделі аналізу ризику різних класів ПНО. Всі можливі комбінації

(поєднання) виникнення і розвитку аварійних ситуацій запропоновано представляти у вигляді узагальнених логіко-графічних моделей, які дозволяють встановити причинно-наслідкові взаємозв'язки між вихідними ініціюючими подіями виникнення аварійних ситуацій та їх розвитком, що призводить до різних видів ризиків. Дані моделі віднесені до комбінованих, оскільки характер невизначеності може бути пов'язаний як з ймовірностями виникнення подій, так і з незнанням деяких причин, неточністю інформації, що описується математичним апаратом нечіткої логіки [1-6].

Аналіз ризиків може слугувати різним задачам, наприклад, допомогти:

- визначити проблеми навколишнього середовища і здоров'я, які пов'язані з різними активностями та речовинами (наприклад, розташування небезпечних відходів та використання різних агентів ризику);
- порівняти нові технології чи ефективність різних методів управління, наприклад різні шляхи зменшення викидів для зниження ризиків;
- вибрати місце розташування ПНО.

Висновки

В основі сучасного підходу забезпечення екологічної безпеки лежить принцип кількісної оцінки небезпеки впливу факторів техногенного чи природного походження. Для вирішення цієї задачі в світовій практиці використовується методологія аналізу та управління ризиками для навколишнього середовища та здоров'я населення. Такий підхід дозволяє відповідним органам приймати більш обґрунтовані рішення щодо управління станом екологічної безпеки навколишнього середовища.

В роботі виконано аналіз та порівняння сучасних вітчизняних та закордонних методів аналізу ризиків для навколишнього середовища та здоров'я людей спричинених дією антропогенних чи природних факторів.

1. *Альмов В.Т.* Техногенный риск: Анализ и оценка : [учебное пособие для вузов] // В.Т. Альмов, Н.П. Тарасова. – М. : ИКЦ «Академкнига», 2004. – 118 с.
2. *Большаков А.М.* Оценка и управление рисками влияния окружающей среды на здоровье населения / А.М. Большаков, В.Н. Крутько, Е.В. Пуцилло – М.: Эдиториал УРСС, 1999. – 256 с.
3. *Качинський А.Б.* Безпека, загрози і ризик: наукові концепції та математичні методи / А.Б. Качинський. – К.: Поліграфконсалтинг, 2004. – 472 с.
4. *Лисиченко Г.В.* Методологія оцінювання екологічних ризиків / Г.В. Лисиченко, Г.А. Хміль, С.В. Барбашев. – О. : Астропринт, 2011. – 368 с.
5. *Лисиченко Г.В.* Природний, техногенний та екологічний ризики: аналіз, оцінка, управління / Г.В. Лисиченко, Ю.Лі. Забулонов, Г.А. Хміль. – К. : Наук. думка, 2008. – 542 с.
6. *Хміль Г.А.* Концептуально-методичний апарат аналізу й оцінки техногенного та природного ризиків / Г.А. Хміль // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2007. – Вип. 5. – С. 47-55.

Поступила 30.9.2013р.