

УДК 331.45  
№ держреєстрації  
0121U110250  
Інв. №

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
імені ДМИТРА МОТОРНОГО  
69600, Запорізька обл., м. Запоріжжя, вул. Жуковського, 66  
тел. (06176) 4-45-46

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Проректор з наукової роботи  
д.т.н., професор  
Анатолій ПАНЧЕНКО



**ЗВІТ**  
про науково-дослідну роботу

**ДОСЛІДЖЕННЯ РИЗИКІВ З ПИТАНЬ ЦИВІЛЬНОЇ БЕЗПЕКИ,  
РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ПО ЇХ ЗНИЖЕННЮ  
В ЗАПОРІЗЬКІЙ ОБЛАСТІ**

Директор НДІ АТЕ  
д.т.н., професор



Олеся ПРИСС

Керівник НДР  
к.с.г.н., доцент



Олег ЯЦУХ

2024

Рукопис закінчено 06 грудня 2024 р.

Результати цієї роботи розглянуто Науково-технічною радою  
науково-дослідного інституту «Агротехнологій та екології»  
Протокол № 2 від 23.12.2024



## РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 71 сторінка, 11 рисунків, 42 джерела використаної літератури.

Об'єкти досліджень: ризики промислових об'єктів і територій, що виникають в процесі господарської діяльності.

Мета дослідження полягає у висвітленні теоретичних підходів до аналізу і оцінки механізму управління ризиками промислових об'єктів і територій та визначення основних шляхів його оптимізації.

Методи досліджень: В процесі дослідження було застосовано наступні методи: теорії нечітких множин та нечіткої логіки, аналіз і синтез, порівняння, структурно-логічний метод, статистичний, метод моделювання, графічний, розрахунково-аналітичний.

Зокрема, метод спостереження використаний при дослідженні практичної діяльності промислових об'єктів, а саме вивчення системи управління ризиками в досліджуваних підприємствах. Метод аналізу і синтезу використовувався для вивчення методів та інструментів управління ризиками організації. Метод порівняння був застосований при дослідженні теоретичних основ поняття «механізм управління ризиками». Використання графічного методу було доцільне при побудові різноманітних схем з методології механізму управління ризиками.

В результаті проведених досліджень: Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що запропоновані в роботі методики оцінювання безпеки об'єкта на основі методів теорії нечітких множин і нечіткої логіки має прикладний характер та можна використати як основу для алгоритму побудови моделі комплексного оцінювання безпеки промислових об'єктів.

Прогноз на подальші дослідження – розробка рекомендацій щодо зниження ризиків найбільш потенційно небезпечних об'єктів.

Ключові слова: РИЗИК, АНАЛІЗ РИЗИКУ, ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА, РИЗИК-ОРІЄНТОВАНИЙ ПІДХІД.

## ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП .....	5
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ УПРАВЛІННЯ ЗМЕНШЕННЯМ НАСЛІДКІВ РИЗИКІВ У ДІЯЛЬНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА ....	7
1.1. Ризики у діяльності підприємства, їх сутність та джерела виникнення .....	7
1.2. Методологічні аспекти формування стратегії запобігання негативних наслідків ризиків для підприємства .....	12
1.3. Основні принципи аналізу безпеки і ризику .....	21
Висновки по розділу 1 .....	29
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ АНАЛІЗУ ТА ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКУ .....	30
2.1. Концептуально-методичний апарат аналізу та оцінювання ризику .....	30
2.2. Концепції аналізу та оцінювання ризиків .....	34
2.3. Дослідження методів аналізу та оцінювання ризиків .....	37
2.4. Дослідження моделей аналізу та оцінювання ризиків .....	39
Висновки по розділу 2 .....	41
РОЗДІЛ 3. УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ АНАЛІЗУ ТА ОЦІНЮВАННЯ ТЕХНОГЕННОГО РИЗИКУ .....	42
3.1. Загальна структура аналізу техногенного ризику .....	42
3.2. Дослідження показників надійності, безпеки та ризику .....	43
3.3. Удосконалення методики оцінювання безпеки об'єкта на основі методів теорії нечітких множин та нечіткої логіки .....	50
3.4. Алгоритми побудови моделі комплексного оцінювання безпеки об'єкта .....	55
Висновки по розділу 3 .....	64
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ .....	65
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	66

## ВСТУП

Прискорення темпів і розширення масштабів виробничої діяльності в сучасних умовах нерозривно пов'язано зі зростаючим використанням енергоємних технологій і небезпечних речовин. В результаті зростає потенційна загроза для здоров'я, життя людей та навколишнього середовища.

На сьогодні актуальним є питання аналізу, прогнозування та оцінки ризиків виникнення небезпечних та аварійних ситуацій на промислових підприємствах в залежності від специфіки функціонування. Практичне застосування результатів таких досліджень використовують при розробці документації, яка визначає ступінь небезпеки відповідних об'єктів, прийняття обґрунтованих рішень щодо зниження ризику небезпеки, запобігання аварійним ситуаціям та своєчасного реагування у разі їх виникнення.

Число техногенних аварій в світі постійно зростає, що нівелює зусилля з розвитку економіки. Більшість розвинених країн переходить на нову стратегію забезпечення безпеки, яка заснована на принципах прогнозування і попередження техногенних аварій. У зв'язку з цим можна стверджувати, що оцінка ризику і розробка заходів зниження наслідків техногенних аварій являється науковою основою досягнення сталого розвитку суспільства.

**Актуальність роботи** дослідження обґрунтовується сучасними тенденціями розвитку суспільних відносин, заснованих на розумінні масштабів та соціально-економічних наслідків великих промислових аварій та катастроф, переходом до розробки, проектування, створення і експлуатації виробничих об'єктів на нових критеріях і методах аналізу небезпек і ризику.

Застосування методів аналізу ризику в практиці забезпечення техногенної безпеки, в тому числі при декларуванні безпеки і страхування відповідальності, вимагає створення єдиних методологічних підходів, які враховують специфіку небезпечних виробничих об'єктів і нормативних вимог у галузі техногенної та пожежної безпеки та захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій.

Проведений огляд і аналіз досліджень показує, що методологія аналізу ризику потенційно небезпечних об'єктів (ПНО) залишається не досконалою.

Всі ці питання вимагають проведення додаткових досліджень з детальним і повним урахуванням факторів техногенної та екологічної безпеки з єдиної методичної позиції.

**Метою та завданнями дослідження** є удосконалення методів комплексного аналізу рівня небезпеки складних технічних систем на основі інтегрованого ризику для підвищення рівня техногенної безпеки небезпечних виробничих об'єктів на прикладі розрахунку ризиків найбільш потенційно загрозливих об'єктів.

Досягнення зазначеної мети вимагало вирішення наступних **завдань**:

- дослідити основні аспекти управління зменшенням наслідків ризиків у діяльності підприємства;
- провести аналіз методологічних аспектів формування стратегії запобігання негативних наслідків ризиків для підприємства;
- проаналізувати основи аналізу техногенного ризику;
- дослідити показники надійності, безпеки та ризику;
- удосконалити методику оцінювання безпеки ПНО на основі методів теорії нечітких множин та нечіткої логіки.

**Об'єктом дослідження** є ризики промислових об'єктів і територій, що виникають в процесі господарської діяльності.

**Предметом дослідження** є процес формування механізму управління ризиками на підприємстві.

**Методи досліджень.** Методологічну основу досліджень складають методи структурно-функціонального аналізу, які використано для розробки методики розрахунку комплексного (загального) ризику ПНО та ОПН. В процесі дослідження було застосовано наступні методи: теорії нечітких множин та нечіткої логіки, аналіз і синтез, структурно-логічний метод, статистичний, метод моделювання, графічний, розрахунково-аналітичний.

## РОЗДІЛ 1

### ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ УПРАВЛІННЯ ЗМЕНШЕННЯМ НАСЛІДКІВ РИЗИКІВ У ДІЯЛЬНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА

#### 1.1. Ризики у діяльності підприємства, їх сутність та джерела виникнення

Будь-яка господарська діяльність потребує прийняття певних обґрунтованих рішень, а це у свою чергу пов'язано з оцінюванням майбутнього. Таке оцінювання реалізується шляхом максимального врахування невизначеностей та активних дій елементів середовища і завжди є певною мірою ризикованим. Пасивним шляхом є оцінювання ризиків, що дозволяє певним чином удосконалити господарську діяльність. Але значно ефективнішим є стратегія зменшення негативних наслідків ризиків, тобто активна діяльність, що скерована на зменшення впливу випадкових чинників та активних протидій на якість рішення.

Розвиток методології розробки стратегії зменшення негативних наслідків ризиків і відповідного розрахункового апарату у першу чергу пов'язується з намаганням визначити, оцінити і в подальшому зменшити шкоду та збитки для довкілля та здоров'я людини від господарської та будь-якої іншої людської діяльності. У цьому напрямку розглядаються такі процеси, як шкідливе виробництво, екологічно небезпечні проекти, техногенні катастрофи, стихійні лиха тощо. Поряд з формуванням та розвитком ринкових механізмів постає проблема оцінювання та обліку ризиків у сфері ділових відносин і, як наслідок, проблема нейтралізації ризиків, управління ризиками [1, 2].

Зменшення негативних наслідків ризиків означає застосовувати дії, що скеровані на підтримання такого його рівня, що відповідає меті управління, поставленій на даний момент. Формально можна виокремити дві основні задачі управління ризиком:

- підтримання ризику на рівні, не вищому за заданий;
- мінімізація ризику при певних заданих умовах.

Ризик супроводить будь-яку не відокремлену від зовнішнього світу та тривалу у часі дію, яка скерована на отримання результату. Кожна така дія пов'язана з невизначеністю і залежить від подій, які можуть статись, а можуть і не статись. Кожен проект (економічний, фінансовий, технологічний, організаційний чи будь-який інший) полягає у досягненні певної мети, що конкретизується через цілі. Очевидно, що на кожному етапі проекту на рішення, які приймаються, впливає велика кількість різноманітних чинників, тісно пов'язаних між собою. Виникають певні колізії. Отже, існує певна імовірність, що проект повністю вирішить поставлені задачі, не досягне поставлених цілей зовсім або досягне їх лише частково.

Розглянемо детальніше поняття ризику, його історію, природу існування, термінологічні схожості та розбіжності залежно від умов прояву.

Передусім зазначимо, що ризик є усвідомленням деякої небезпеки, причому певної надмірної небезпеки (детальніше розглянемо це далі). Тобто ризик є поняттям суб'єктивним, адже тільки людина як суб'єкт може усвідомити небезпеку внаслідок певних своїх дій чи дій інших людей, або природних явищ тощо. Отже, природа ризику нерозривно пов'язана з природою людської діяльності. Ризик з'явився, як тільки перед людиною постала проблема вибору. Вибір і ризик – це опосередковані (і суб'єктивно, і об'єктивно), органічно взаємопов'язані властивості людської психіки, оскільки «вибір шляху повинен починатись із визначення своїх можливостей, своєї сутності, погляду на ситуацію і на себе» [3].

З розвитком людства ризику зливалися у почуття особистої небезпеки і від ще неусвідомлених сил природи, і від примітивних знарядь праці. Однак комплекс небезпек від сил природи залишався загалом незмінним, а комплекс небезпек внаслідок процесу людської діяльності невпинно розростається тому, що його безпосереднім творцем була і залишається сама людина. Цей процес вирішальною мірою характерний для сучасних умов [4].

Об'єктивне існування ризику зумовлене ймовірнісним характером багатьох природних, соціальних і технологічних процесів, інваріантністю матеріальних та ідеологічних стосунків, в які вступають суб'єкти соціального життя. У зв'язку з цим через наявність багатьох непрогнозованих, випадкових, суб'єктивних обставин можуть траплятися різноманітні відхилення від очікуваного результату. Це визначає неоднозначність передбачень у різних сферах суспільного життя та неможливість керувати суспільством як жорстко-детермінованою системою [5].

Термін «ризик» використовується як у науковому, так і у щоденному спілкуванні. Ризик є необхідною складовою людської діяльності, коли існує невпевненість у результатах того чи іншого рішення, процесу.

Накопичення наукових знань про ймовірнісний характер природних і суспільних процесів, розвиток окремих розділів математики, необхідність вироблення юридичних норм і правил призвели до того, що ризик потрапляє в поле зору представників різних природничих і суспільних наук [6-9]. Річке зростання частки ймовірнісно-статистичних уявлень у наукових знаннях, об'єктивна необхідність пошуку пізнавальних засобів, які дозволяють враховувати чинники невизначеності, конфліктності при виборі оптимальних альтернатив створили реальні перспективи для соціально-філософського аналізу ризику [10, 11].

Поняття «ризик» вивчається багатьма конкретними науками – теорією ігор, теорією ймовірностей, теорією стохастичної оптимізації, ймовірнісною і багатозначною логікою, теорією катастроф, теорією прийняття рішень, психологією, військовими, економічними, демографічними, медичними, біологічними, правовими та іншими дисциплінами.

Загалом ризик варто розглядати як суспільне явище, що має власну сутність, відповідні закономірності розвитку й управління в ситуації невизначеності.

Термін «ризик» зустрічається практично у кожній сфері господарської діяльності та суспільного життя людини, і в кожній з них цей термін отримує

певні риси, уточнення, доповнення, що притаманні саме цій сфері. Словники визначають ризик як можливість небезпеки, можливість того, що станеться щось небажане: пошкодження, збитки, травма, смерть тощо. Економіст може додати: відхилення отриманого результату від запланованого, а статистики зроблять уточнення: імовірність конкретної небажаної події.

При цьому під терміном «ризик» у його найзагальнішому значенні розуміють два такі кількісні показники, як величину очікуваних збитків від тих чи інших подій, явищ або дій та ймовірність виникнення цих подій, явищ або дій.

Багатогранність поняття ризику (об'єктивна чи суб'єктивна) зумовлена різноманіттям чинників, що характеризують як особливості конкретного виду діяльності, так і специфічні риси невизначеності, в умовах якої ця діяльність здійснюється. В опрацьованих літературних джерелах визначено поняття «ризик», подані різними авторами залежно від сфери діяльності та суспільного життя людини, в яких цей термін зустрічається найчастіше.

Виходячи із наведених у науковій літературі даних, за різними сферами господарської діяльності ризик характеризується небезпекою або імовірним настанням негативних подій.

Необхідно зазначити, що у літературних джерелах немає чіткої єдності у трактуванні поняття «ризик». Відмітимо, що погляди авторів неоднозначні з приводу того чи ризик – це ймовірність чи об'єктивна реальність. Також думки науковців різняться у визначенні можливих наслідків ризику, деякі стверджують, що він несе лише негативний результат, проте є думки, що ризик може нести як негативний, так і позитивний результат.

Існують різні погляди щодо джерел виникнення ризику [12-15]. У загальному розумінні виокремлюють три основні погляди виникнення ризику: об'єктивний, суб'єктивний, об'єктивно-суб'єктивний. Суб'єктивний аспект полягає у виборі рішення особою при наявності альтернативи і імовірності отримати певний результат. Об'єктивне існування ризику зумовлюється ймовірністю багатьох природних, соціальних, технологічних

процесів, багатоваріантністю відносин суб'єктів економічної сфери суспільства. Ризик присутній незалежно від того, усвідомлюють це люди чи ні й тому це необхідно враховувати. Ризик виникає внаслідок суб'єктивно-об'єктивних процесів, а саме такими, існування яких не залежить від волі та свідомості людей. Головне у цьому – це невизначеність щодо різних рівнів середовища. Існування ризику безпосередньо пов'язане з наявністю невизначеності, яка охоплює зовнішнє та внутрішнє середовище. До основних джерел виникнення ризику належать :

- спонтанність природних процесів і явищ, стихійні лиха;
- випадковість соціально-економічних процесів, багатоваріантність відносин між суб'єктами;
- наявність протидіючих антагоністичних тенденцій, зіткнень суперечливих інтересів;
- невизначеність і ризик зумовлюються імовірнісним характером науково-технічного прогресу;
- існування невизначеності внаслідок неповної і недостатньої інформації про об'єкт, процес, явище, якого стосується прийняття рішення. Обмеженість щодо збору та обробки інформації, яку потрібно постійно оновлювати;
- обмеженість та недостатність усіх необхідних ресурсів (матеріальних, фінансових, трудових та ін.) для прийняття та реалізації рішень;
- неможливість однозначного пізнання об'єкту за існуючих рівнів і методів наукового пізнання;
- відносна обмеженість свідомої діяльності людей, неминучі відмінності у соціально-психологічних установках, ідеалах, намірах, оцінках, стереотипах поведінки;
- незбалансованість основних компонентів господарського механізму: планування ціноутворення, матеріально-технічного забезпечення, фінансово-кредитних відносин тощо.

Проаналізувавши поняття «ризик» та визначивши джерела його виникнення, необхідним також є ідентифікація можливих ризиків у процесі

здійснення господарської діяльності підприємства з метою їх ліквідації або мінімізації ступеня їх впливу.

Кожен вид організаційної зміни несе відповідні ризики при здійсненні господарської діяльності підприємства. Кваліфікаційний ризик повторюються у деяких видах змін, оскільки ці ризики стосуються безпосередньо працівників, які є невід'ємною частиною їх реалізації.

В економічній літературі існує велике різноманіття класифікацій ризиків залежно від класифікаційних потреб, та оскільки усі ризики тісно пов'язані із середовищем функціонування підприємства, то їх доцільно поділяти на ризики зовнішнього та внутрішнього середовища. Класифікація ризиків представлена в різних літературних джерелах.

До ризиків зовнішнього середовища відносять економічні, соціальні, політичні, адміністративно-законодавчі, природно-екологічні та науково-технічні. Ризики внутрішнього середовища поділяються на три великі групи, а саме ресурсні, виробничо-господарські, комерційні.

Таким чином, ризик являє собою ситуативну характеристику діяльності будь-якого ринкового суб'єкта, що є наслідком невизначеності у його внутрішньому і зовнішньому середовищі. Джерелами виникнення ризику є соціально-економічні процеси та організаційні зміни, які виникають у процесі господарської діяльності підприємства.

У процесі здійснення господарської діяльності та загроз збоку внутрішнього і зовнішнього середовища виникає необхідність формування стратегії запобігання негативних наслідків ризиків для підприємства.

## 1.2. Методологічні аспекти формування стратегії запобігання негативних наслідків ризиків для підприємства

Стратегія запобігання негативних наслідків ризиків – це мистецтво управління діяльністю підприємства у невизначеній господарській ситуації, що ґрунтується на прогнозуванні ризику і прийомах його зниження [16].

Формування стратегії запобігання негативних наслідків ризиків для підприємства потребує знань предметної діяльності суб'єкта господарювання, аналізу господарської діяльності підприємства, математичних методів оптимізації економічних завдань.

Методологічним інструментарієм є сукупність методів, прийомів і заходів, що дозволяють певною мірою прогнозувати настання ризикових подій і вживати заходів до їхнього зменшення.

З метою розробки ефективної стратегії запобігання негативних наслідків ризиків необхідно враховувати наступні аспекти:

- які ризики підприємство зобов'язане враховувати у своїй діяльності;
- які способи і інструменти дають можливість управляти ризиками;
- який обсяг ризику підприємство може взяти на себе (прийнятна сума збитку, що може бути погашена з власних коштів).

Однак лише формулювання стратегії запобігання негативних наслідків ризиків для управління економічним ризиком недостатньо, необхідно ще мати механізм її реалізації – систему управління економічними ризиками, що, у свою чергу, припускає:

- створення ефективної системи оцінювання і контролю прийнятих рішень;
- виокремлення на підприємстві спеціального підрозділу (працівника), якому буде доручене управління ризиками;
- виділення коштів і формування спеціальних резервів для страхування ризиків, покриття збитків і втрат.

Оскільки підходи до формування стратегії запобігання негативних наслідків ризиків можуть бути найрізноманітнішими, тому управлінню ризиками притаманна багатоваріантність. Багатоваріантність ризик-менеджменту означає стан стандарту і неординарності фінансових коливань, гнучкість і неповторність тих чи інших способів дій у конкретній господарській ситуації. Головне правильно поставити мету, що відповідає економічним інтересам суб'єкта господарювання.

Процес формування та реалізації стратегії запобігання негативних наслідків ризиків включає низку етапів:

- Етап формування стратегії запобігання негативних наслідків ризиків включає визначення мети і ступеня прийнятності ризику. Для підприємства головною метою є забезпечення стійкого існування у невизначених умовах.

- Етап розпізнання ризику полягає в усвідомленні можливих ризикових ситуацій.

- Етап оцінки ризику полягає у визначенні ступеня загроз й небезпеки.

На етапі вибору методів запобігання негативних наслідків ризиків вони поділяються на дві категорії – контроль за ризиком і фінансування ризику. Рішення про те, який з методів обрати, приймає особа, відповідальна за прийняття рішень. Іноді виявляється, що найкращим рішенням може бути поєднання відразу кількох методів.

- Етап реалізації стратегії або застосування методу запобігання негативних наслідків ризиків – рішення про те, який з методів слід застосовувати. Часто виявляється, що дієвою є сукупність різних методів.

- Етап оцінки результатів – це підведення підсумків за певний період діяльності в умовах ризику.

Ризик може виявлятися різними способами: від складного ймовірного аналізу у моделей дослідження операцій до чисто інтуїтивних висновків. На даний час менеджмент підприємства спирається на власну інтуїцію, певний авторитет і на попередній досвід. Лише незначний відсоток менеджерів може оцінювати ризик із застосуванням математичних методів. Найбільших успіхів досягає підприємство, яке може прорахувати й інтуїтивно визначити ступінь ризику, і, незважаючи на можливість невдачі, піти на ризик [17].

Підприємства дуже часто використовують триетапний підхід до формування стратегії запобігання негативних наслідків ризиків.

Перший етап – визначення типів ризику, які можуть бути на підприємстві. У першу чергу керівник ризиками ідентифікує тип потенційних ризиків для підприємства.

Другий етап – оцінка потенційного впливу ідентифікованих ризиків. Деякі ризики настільки малі, що вони не відчутні, у той час як інші мають згубне значення для потенціалу підприємства. Доцільно також класифікувати ризики за їх потенційним значенням і потім сфокусувати ресурси з управління ризиками на найбільш серйозні напрямки.

Третій етап – вирішення питання, як варто мінімізувати кожен релевантний ризик.

Стратегія запобігання негативних наслідків ризиків також допускає здійснення процесів і дій, які реалізують цілеспрямований вплив на ризик.

Розглянемо більш детально методи, які використовуються суб'єктами господарювання при формуванні і реалізації стратегії запобігання негативних наслідків ризиків [18-20].

Перший метод – усунення, запобігання ризику. Стосовно до ризиків, пов'язаних зі стихійною дією природних сил (землетрусу, посухи, вимерзання посівів і т.д.), це взагалі неможливо. Важко також заздалегідь визначити зміни у поведженні конкурентів на ринку. Не можна передбачити всі обставини й у власне інноваційній діяльності. Можна, звичайно, не приймати ризикованих рішень, але тоді суб'єкт господарювання позбудеться шансу реалізувати себе як щирого підприємця й одержати прибуток. Він приречений на застій, застосування рутинних методів господарювання, чим, природно, підвищує імовірність утрати конкурентоздатності і банкрутства.

Зрозуміло, необхідно уникати катастрофічних ризиків, здатних викликати втрати, близькі до розміру власних оборотних коштів (ризик можна вважати критичним, якщо втрати чистого прибутку загрожують досягнути 75%) [21]. Очевидно, усіма доступними методами потрібно уникати ризику нежиттєздатності інноваційного проекту. Інвестори можуть прийняти лише такий проект, передбачувані доходи від якого здатні покрити витрати на його реалізацію і принести прибуток не нижче рівня банківського відсотка. Важливо іти також від ризиків незавершеного будівництва, неповернення кредиту тощо.

Другий метод запобігання негативних наслідків ризиків – зменшення несприятливого впливу тих чи інших чинників на результати виробництва і господарської діяльності у цілому. Він припускає прийняття всіх можливих превентивних заходів: підвищення якості планування, організації і управління виробництвом; використання гнучких технологій і створення системи резервних фондів, поліпшення державного регулювання господарської діяльності шляхом створення відповідних параметрів економічного і правового середовища; вибір оптимальної товарної стратегії і стратегії поведінки господарських структур на ринку.

Третій метод запобігання негативних наслідків ризиків – його передача, переведення шляхом формування ефективної системи страхування усіх видів ризику, створення акціонерних товариств (як товариств з обмеженою майновою відповідальністю) і інших аналогічних дій.

Четвертий метод – оволодіння ризиком. Застосування даного методу доцільно і навіть необхідно, коли потенційні втрати незначні і робиться все можливе для попередження чи зниження збитку від впливу непередбачених обставин, коли чітко виявлені шанси на одержання високого прибутку. Щоб свідомо йти на ризик, підприємець має спиратися на знання економічних, природних і інших законів і закономірностей; економічну відповідальність; фундамент інформації; науково розроблену теорію прийняття управлінських рішень і механізм їхньої реалізації.

Для того, щоб ефективно управляти ризиками, необхідно не лише прогнозувати їх появу, включаючи місце, сферу і час, а й мати підготовлений план заходів підприємства у випадку настання ризикової ситуації [22].

Контроль за ризиком інакше називається методом мінімізації збитків і може здійснюватися за допомогою диверсифікації. Диверсифікацією називається інвестування коштів у кілька видів активів. Диверсифікація полягає у розподілі зусиль і капіталовкладень між різними видами діяльності.

У теорії ймовірностей легко довести, що ймовірність одночасного настання відразу всіх чи кількох несприятливих подій значно менша, ніж

кожної з них окремо. Саме на основі цього висновку і базується диверсифікація.

Диверсифікація може здійснюватися у часі й у просторі. У часі вона означає докладання зусиль не одночасно по всіх можливих напрямках, а послідовно. Наприклад, запланувати освоєння випуску кількох видів товарів, але розосередити досягнення результатів на певному відрізку часу і не всіх відразу. У просторі вона означає розподіл зусиль на значній території. Наприклад, створення підрозділів підприємств, банків, страхових компаній у різних населених пунктах можна віднести до просторової диверсифікації.

Розрізняють також концентричну і горизонтальну диверсифікації. Концентрична диверсифікація стосується вже освоєних видів діяльності, горизонтальна – нових. Так, поповнення асортименту виробами, подібними до товарів, які вже виробляються підприємством, є концентричною диверсифікацією. Освоєння ж випуску виробів, відмінних від товарів, які підприємство вже виробляє, є горизонтальною диверсифікацією.

До будь-якого методу запобігання негативних наслідків ризиків варто підходити творчо і виважено, у тому числі й до диверсифікації. Застосовуючи диверсифікацію, слід враховувати наступне: диверсифікація може не лише зменшити, а й збільшити ризик. Це може спостерігатися у тому випадку, якщо нові сфери діяльності невідомі для особи, яка приймає рішення, чи в яких її професійні знання обмежені; не кожний ризик можна зменшити за допомогою диверсифікації. Ризики, що пов'язані з очікуванням кризи чи піднесення економіки; ризики, які пов'язані з рухом банківського відсотка; політичний ризик і низка інших не піддаються диверсифікації.

Способи ухиляння від ризику, тобто відмови від ризикованої справи. Наприклад, відмова від ризикованої поїздки, пов'язаної з ризиком, відмова від господарської діяльності, де є велика імовірність втрат, небажання мати справу з партнером, якому не довіряєш.

Це найбільш простий і радикальний спосіб зниження ризику. Він дає змогу повністю уникнути можливих втрат, але не залишає надій на

одержання бажаного результату. До ухиляння від ризику слід вдаватися виважено, оскільки можливий обсяг прибутку від певної діяльності може значно перевищувати можливі втрати у разі здійснення ризику в ній. Кожного разу слід враховувати такі моменти: уникнути деяких ризиків просто неможливо, зокрема, це стосується ризиків цивільної відповідальності; ухиляння від одних ризиків може призвести до виникнення інших, можливо більш значущих ризиків, наприклад, відмова від польоту на літаку ставить проблему вибору іншого виду транспорту, теж ризикованого.

Запобіганням збиткам, тобто проведенням заходів, що дозволяють звести до мінімуму ймовірність деяких збитків. Наприклад, оптимальна організація виробництва, інвестування коштів у безризикові цінні папери. Однак треба наголосити, що з погляду теорії ймовірностей імовірність повного запобігання збиткам дорівнює нулю. Навіть свої облігації, що вважаються безризиковими, держава за певних умов у принципі може відмовитися погасити. Такі приклади відомі.

Мінімізацією втрат, тобто використання заходів, що дають можливість знизити ймовірність настання несприятливого випадку чи величину збитку до мінімально можливої. Найчастіше мінімізація ризику досягається за допомогою різних запобіжних заходів, під якими розуміються протипожежні заходи, методи посилення безпеки будинків і споруд, встановлення систем контролю й інформування, навчання персоналу способам поведінки в екстремальних ситуаціях, дотримання всіх технологічних правил виробництва продукції, організація необхідних запасів сировини тощо. Іноді диверсифікацію не виокремлюють в окремий метод, а розглядають як один з методів мінімізації втрат.

Досить часто застосовується також метод мінімізації втрат шляхом поділу (сегрегації) або об'єднання (комбінації) ризиків.

Розмежування ризиків здійснюється, як правило, за рахунок розділення активів підприємства. Суть розмежування – скорочення максимально можливих втрат за одну подію, але збільшення кількості ризикованих подій.

Активи можна поділити двома шляхами: фізичне розділення самих активів та розділення власності.

Приклад першого поділу активів – зберігання їх у різних банках, тобто диверсифікація. Наприклад, власність записується на різних членів сім'ї чи на ім'я корпорації і трастових фірм, створених з цією метою.

Під об'єднанням ризику розуміється метод зниження ризиків, згідно з яким можливий ризик поділяється між суб'єктами економіки. Об'єднання, або комбінація, ризиків, як і розмежування, дає можливість зробити втрати більш передбачуваними.

Передачею контролю за ризиком (трансфером) – відмова від участі у ризикованому заході (але не від самого заходу) за рахунок залучення іншої сторони. Наприклад, найняти субпідрядника, передати ризик за перевезення вантажу постачальнику.

Можна виокремити три причини, за якими передача ризику вигідна як для сторони, що передає (трансфера), так і для приймаючої (трансфері): втрати, що великі для трансфера, можуть бути незначні для трансфері; трансфері може знати більш дієві способи і мати кращі можливості для скорочення можливих втрат; трансфері може перебувати в кращій позиції для скорочення втрат або контролю за ризиком.

Основний спосіб передачі ризику здійснюється шляхом укладання контракту. При цьому використовуються такі види контрактів: будівельні контракти, оренда, контракти на перевезення і зберігання вантажу, контракти продажу, обслуговування, постачання, контракт-поручительство, договір факторингу, біржові угоди (придбання опціонів, ф'ючерсних контрактів).

Трансфер ризику – необов'язково найбільш безпечний і ефективний спосіб мінімізації ризику. Трансфері може не тільки не мати достатніх коштів для покриття можливих втрат, а також, як правило, він не має ефективних важелів для зниження рівня ризику, оскільки, зокрема, бере відповідальність за майно, яке йому не належить. Тому, передаючи ризик, підприємство має враховувати наступні аспекти: розподіл ризику між сторонами має бути

чітким і недвозначним, рішення про трансфер ризику має прийматися на базі критерію ефективності у порівнянні з аналогічними за надійністю методами мінімізації ризику, трансфері має мати можливість виконати прийняті на себе зобов'язання, трансфер має значні повноваження для скорочення збитків контролю за ризиком і якнайкраще використовувати ці повноваження, ризик має передаватися за ціною, яка влаштовує обидві сторони.

До фінансування вдаються у тому випадку, коли безумовно мають у своєму розпорядженні гроші. Фінансування ризику означає відшкодування можливих збитків і може здійснюватися двома способами: прийняття ризику. Це принципова згода на відшкодування збитків за рахунок власних коштів. При цьому деякі ризики приймаються тому, що вони неминучі, інші тому, що несуть у собі потенціал можливого прибутку. Приймаючи ризик, слід брати до уваги такий момент: втрати, які легко передбачати і прорахувати (поломка устаткування, помилки персоналу), потрібно враховувати як оперативні витрати, а не як збиток у результаті дії ризику.

Прийняття ризику може бути двох видів: заплановане і незаплановане. У запланованому випадку прийняття ризику втрати покриваються з поточного прибутку, якщо у цілому вони невеликі. У цьому випадку часто вдаються до так званого самострахування, тобто створення власних резервних фондів (фондів самострахування або фондів ризику) для покриття можливих збитків шляхом нагромадження коштів. Самострахування доцільне тоді, коли: вартість майна, що залишається на свій ризик, невелика, якщо порівняти з майновими і фінансовими критеріями всього бізнесу, або ж ймовірність збитків дуже мала.

У сучасних умовах запобігання негативних наслідків ризиків для підприємства є обережна стратегія, зважена і ризикована. Вибір тієї чи іншої стратегії визначається результатами оцінки ступеня впливу ризиків на господарську діяльність підприємства, наявними ресурсами і можливостями, що дозволить суб'єкту господарювання запобігти негативному впливу наслідків ризиків [23, 24].

У процесі реалізації стратегії запобігання негативних наслідків ризиків для підприємства з управління ризиками можливим є внесення певних уточнень відповідно до процедур управління ними.

Отже, використання методології формування стратегії запобігання негативних наслідків ризиків та різноманітних методів управління ними дозволяє підприємству істотно знизити розмір можливих економічних втрат в умовах нестабільної економіки. Методологічні підходи базуються на розпізнаванні та кількісній й якісній оцінці ризику, контролем ризику та його фіксуванням, моніторингу впровадження стратегії запобігання негативних наслідків ризиків та визначення її ефективності.

Розробка та запровадження відповідної стратегії запобігання негативних наслідків ризиків потребує наявності на підприємстві висококваліфікованого персоналу та досвіду господарської діяльності. За результатами запровадження стратегії підприємства можуть забезпечити стійке функціонування та ринку та отримати довготермінові переваги порівняно з іншими суб'єктами.

### 1.3. Основні принципи аналізу безпеки і ризику

Аналіз частоти і масштабів наслідків НС техногенного і природного походження у світі, починаючи з другої половини ХХ ст., свідчить про зростання тенденції підвищення ризиків небезпечних природних явищ, техногенних аварій і катастроф, які часто мають транскордонний характер. Останнє десятиліття вирізняється повторюваністю небезпечних природних процесів, обумовлених ростом метеорологічних екстремумів: температури повітря, атмосферних опадів, швидкості вітру. Комбінація цих чинників часто викликає повені, зсуви, селі, призводить до численних людських жертв.

Через низку техногенних катастроф, які сталися на АЕС, нафтопроводах у 1980-х роках були прийняті міжнародні та національні правові акти, що регулюють відносини у галузі техногенної безпеки.

Проблеми профілактики і запобігання великим аваріям стали предметом обговорення і дослідження в багатьох країнах світу. Нові вимоги до рівня безпеки в промисловості та наукові досягнення розвинених країн започаткували формування сучасного нормативно-правового, науково-методологічного, організаційно-технічного й управлінського забезпечення діяльності особливо небезпечних промислових об'єктів. На початку 1990-х років лідером у цьому напрямі став ЄС. Він уклав міжнародні угоди, що визначили вимоги до національних законодавств, які спрямовувалися на запобігання великим промисловим аваріям. ЄС і сьогодні очолює діяльність у сфері управління техногенною безпекою.

Спільні зусилля європейських країн стосовно розвитку відповідної законодавчої бази увінчались розробкою у 1982 р. Директиви Європейського Співтовариства 82/501/ЕЕС "Про запобігання великим промисловим аваріям" (Севезо I). Тривалий час вона була базовим міжнародним документом, який визначав політику безпечної діяльності у промисловості. Імплементация цієї Директиви стала першим етапом гармонізації національних законодавств країн-членів ЄС у сфері техногенної безпеки.

Міжнародний досвід управління безпекою промислових об'єктів та аналіз причин аварій на них зумовили необхідність вдосконалення існуючих правових положень. Комплекс причин виникнення аварій на небезпечних промислових об'єктах (організаційні помилки, людський фактор, вихід з ладу апаратури й устаткування, відхилення від нормального робочого режиму) змусив Міжнародне бюро праці у 1991 р. затвердити Кодекс практичних правил щодо запобігання великим промисловим аваріям, а у 1993 р. МОП ухвалила Конвенцію про запобігання великим промисловим аваріям.

Аналіз статистичних даних щодо причин виникнення великомасштабних промислових аварій в Європі свідчив, що понад 85 % із них стосуються недоліків систем управління безпекою [25, 26]. Висунення нових вимог щодо захисту населення і навколишнього природного середовища спричинило появу Директиви Ради 2012/18/ЕС від 4 липня 2012 року про

контроль загроз виникнення значних аварій, пов'язаних із використанням небезпечних речовин [27]. Цей документ підготовлений із визнанням того, що небезпечні речовини застосовують у всьому світі, здебільшого на промислових підприємствах; їх перевозять автомобільними, водними шляхами, залізницею. Аварії, як і пожежі, вибухи і витікання ведуть до викиду небезпечних речовин, які можуть шкідливо впливати на здоров'я людей, навколишнє середовище. Директива Севезо II має за мету запобігання великомасштабним аваріям та обмеження їхніх наслідків для людини і навколишнього середовища, забезпечення високих рівнів захисту населення.

Головною особливістю цієї Директиви було введення поняття ризику «як імовірності виникнення негативної події (аварії) за певних умов протягом певного періоду». За ступенем ризику всі небезпечні промислові підприємства у цій Директиві поділені на об'єкти: «нижнього класу» і об'єкти «верхнього класу». На останніх знаходяться більші обсяги небезпечних речовин. Директива Севезо II встановлює до них два рівні вимог.

Організаційною й управлінською особливістю Директиви Севезо II було введення поняття «оператора», визначення обов'язковою для підприємства розробки політики запобігання великим аваріям і створення систем управління безпекою, на яку покладалася реалізація цієї політики з метою забезпечення мінімально можливого ризику виникнення аварій. Оператором визначалася фізична чи юридична особа, яка експлуатує або утримує підприємство чи промисловий об'єкт або, якщо це дозволено національним законодавством, має право приймати важливі економічні рішення, що стосуються експлуатації даного об'єкта. Фактично на операторі замикаються всі аспекти безпечного функціонування підприємства, що робить його центральною особою, відповідальною за стан техногенної безпеки.

Положення Директиви окреслили ті законодавчу модель і методологічне підґрунтя, які були покладені в основу формування національних нормативно-правових актів із техногенної безпеки країн-членів ЄС. Хоча імплементація Директиви охоплює невеликий період часу,

починаючи з 1997 р. вона вже зазнала певних змін. Результати аналізу причин виникнення промислових аварій, що сталися в Європі з моменту набрання чинності Директивою Севезо II, визначили необхідність і напрями зміни деяких положень і розширення сфери її дії.

На сьогодні Директива 2012/18/ЕС у правовому європейському просторі є основним документом з техногенної безпеки, пов'язаної з використанням небезпечних речовин. Враховуючи складність проблематики у цій сфері, а також узагальненість директивних положень, Європейська комісія разом із представниками промисловості розробляє до цієї Директиви додаткові документи з різних питань, які однак не мають законодавчої сили. Це настанови, що виконують консультативну функцію щодо інтерпретації конкретних директивних вимог та допомагають національним органам влади і підприємствам у вирішенні певних організаційних і управлінських завдань на основі підходів, розроблених європейською наукою у цій галузі. Основними ключовими напрямками, які мають таку документальну підтримку, є: політика запобігання великим аваріям, система управління безпекою, підготовка звіту про безпеку, організація інспекційного контролю, інформування громадськості.

Під час прийняття Директиви Севезо II було наголошено, що фундаментальні причини промислових аварій знаходяться у сфері управління компаній. Ось чому управління безпекою небезпечних підприємств почали розглядати не як звичайне декларування намірів вищого керівництва, а як обов'язкову діяльність, згідно з відповідними вимогами. За існування ризиків виникнення великих аварій визначають два глобальні завдання: здійснення превентивної політики, яка має забезпечити високий рівень захисту, і впровадження всіх необхідних заходів, засобів, процедур і систем, які здатні реалізувати цю політику найліпшим чином. Причому оператор має постійно демонструвати, що превентивна політика безпеки існує, впроваджується і гарантує встановлений рівень захисту населення й навколишнього природного середовища.

В ЄС однією з умов введення небезпечного промислового об'єкта в експлуатацію є наявність документального оформлення політики запобігання великим аваріям. Фактично це означає, що за європейськими стандартами небезпечний промисловий об'єкт не має права функціонувати за відсутності розробленої політики забезпечення техногенної безпеки. В ній має бути відображено, як саме оператор забезпечує на підприємстві високий рівень захисту людей і навколишнього природного середовища. Ця політика має охоплювати основні елементи (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Складові елементи політики запобігання великим аваріям небезпечного промислового об'єкта

Політика запобігання великим аваріям має визначати загальні цілі та принципи забезпечення безпеки промислових об'єктів, на яких є небезпечні речовини. Всі інші документи, що стосуються безпеки підприємства, спираються на неї, деталізують та реалізують її положення.

Директива диференціює вимоги до підприємств «нижчого» і «верхнього» класу. Однак і перші, і другі мають розробити свою політику запобігання великим аваріям. Відмінність полягає в тому, що підприємства «нижнього» класу розробляють як окремий документ «Політику запобігання

великим аваріям» згідно з вимогами, викладеними в Додатку III Директиви і надають її уповноваженому органу з питань техногенної безпеки. Для об'єктів «верхнього» класу, які підпадають під дію статей 9, 11, 13, ця політика запобігання великим аваріям і організація системи управління безпекою обґрунтовуються у «Звіті про безпеку». Крім того, для об'єктів «верхнього» класу відповідно до Додатка IV складається об'єктовий план дій у надзвичайних ситуаціях, який передається до уповноваженого органу і використовується для розроблення зовнішнього (територіального) плану дій.

Згідно з Настановою ЄС щодо політики запобігання великим аваріям та систем управління безпекою, яка спирається на Директиву Севезо II, система управління безпекою підприємства має реалізовувати зазначені на рис. 1.1 сім елементів політики запобігання великим аваріям.

*Організація і управління персоналом.* Визначаються роль персоналу і відповідальність, залученого до управління безпекою, на всіх організаційних рівнях підприємства. Визначаються зміст і вимоги до навчання персоналу.

*Оперативний (експлуатаційний) контроль.* Передбачає прийняття і реалізацію процедур та інструкцій щодо безпечної експлуатації, включаючи технічне обслуговування процесів, обладнання, тимчасових зупинок виробництва й підприємства загалом.

*Управління змінами.* Є розроблянням і реалізацією процедур здійснення запланованих змін устаткування, технологічних процесів. Зазвичай потреба у змінах системи управління безпекою виникає після проведення аудитів. Ефективність управління змінами залежить від організації їх проектування, планування та документування виконаних процедур.

*Планування дій у НС.* Передбачає реалізацію процедур ідентифікації потенційних джерел небезпеки, складання планів реагування на НС, заходів з ліквідації та пом'якшення наслідків аварій, систематичний аналіз, перевірку і перегляд існуючих планів щодо їх відповідності вимогам із техногенної безпеки. Одним з елементів планів дій у НС є повідомлення громадськості про можливу загрозу або аварійну ситуацію, що склалася на підприємстві.

*Ідентифікація й оцінювання загроз.* Передбачає систематичне виконання процедур із виявлення джерел небезпеки за нормальних умов функціонування об'єкта, а також у разі аварії, та оцінювання ризиків виникнення аварій і НС. Процедури ідентифікації й оцінювання загроз треба застосовувати на всіх стадіях життєвого циклу підприємства, починаючи від проектування і закінчуючи його ліквідацією.

*Моніторинг.* Передбачає реалізацію процедур оцінювання відповідності політики запобігання великим аваріям, системи управління безпекою стандартним вимогам промислової безпеки, діючої на підприємстві, та коригування цих елементів у разі виявлення такої невідповідності.

*Аудит і огляд.* Передбачають прийняття і реалізацію процедур систематичного оцінювання політики запобігання великим аваріям та ефективності системи управління безпекою, а також організацію звітів про дієвість цієї політики, рівень безпеки та ефективність дій керівництва.

Крім аудиту Директива Севезо II ставить обов'язкову вимогу щодо організації компетентними органами системи інспекцій та інших заходів контролю для небезпечних промислових об'єктів. Метою таких інспекцій є отримання переконливих даних, які мають засвідчити, що:

- на підприємстві вжито необхідні заходи щодо запобігання аваріям;
- є всі необхідні засоби для мінімізації наслідків великих аварій як на території підприємства, так і поза його межами;
- інформація у звіті про техногенну безпеку адекватна реальному стану підприємства;
- забезпечено доступність інформації для громадськості про рівень безпеки підприємства.

Дієвість політики запобігання великим аваріям забезпечується регулярним доведенням її до персоналу, навчанням персоналу, систематичною реалізацією та оцінюванням її результативності й постійним удосконаленням.

Стосовно аналізу рівня безпеки, нині у світі розроблено кілька концепцій безпеки, які спираються на такі базові принципи:

- безумовного пріоритету безпеки і збереження здоров'я над будь-якими іншими елементами умов та якості життя членів суспільства;
- прийнятності небезпеки і ризику, згідно з яким встановлюються нижній і верхній рівні (ГДР) безпеки і в цьому інтервалі прийнятний рівень безпеки (ризик) з урахуванням соціально-економічних чинників;
- мінімальної небезпеки, згідно з яким ризик необхідно знижувати настільки, наскільки це можливо, добиваючись досягнення розумного компромісу між рівнем безпеки і розміром витрат на її забезпечення;
- неперевищення гранично допустимих навантажень на екосистеми (полягає в тому, щоб особи, які ухвалюють управлінські рішення щодо забезпечення безпеки людей, не піддавали ризику здатність природи забезпечувати життєві потреби майбутніх поколінь).

Важливі кроки у напрямі запобігання великим аваріям зроблено і в Україні. Нині центральним правовим актом, який стосується забезпечення техногенної безпеки, є Закон України «Про об'єкти підвищеної небезпеки» [28]. Його поява була логічним результатом гармонізації українського законодавства з європейським і впливом Директиви Севезо II. У зазначеному законі як визначення «об'єкт підвищеної небезпеки» і «потенційно небезпечний об'єкт», так і їх категорійність за класами небезпеки, ґрунтуються на наявності на них небезпечних речовин.

В Україні поки-що слабо розвинені нормативно-правові, організаційно-адміністративні, економічні, науково-методичні та інженерно-технічні методи управління ризиками, що сьогодні унеможлиблює забезпечення рівня безпеки для населення, прийнятого в економічно розвинених країнах. Досі відсутній стандарт основних понять і термінів у сфері аналізу ризику. Відсутня система типових методик оцінювання ризиків надзвичайних ситуацій різного типу або збитків від них. Проте наукові дослідження, спрямовані на формування надійних і ефективних показників рівня безпеки населення, розробка методик і нормативів щодо її забезпечення постійно розвиваються і вдосконалюються.

Зауважимо, що управління ризиками НС передбачає організацію постійного моніторингу за рівнем небезпеки техногенних об'єктів, природних процесів та регулювальний вплив на параметри устаткування й технологічні процеси, природні комплекси, екзогенні геологічні процеси тощо для зниження їх небезпечності. Регулярний моніторинг ризиків дає змогу відстежувати зміни рівня безпеки небезпечних об'єктів упродовж їх життєвих циклів, отримувати оцінки їх залишкового ресурсу, що в умовах обмежених фінансових ресурсів та значної зношеності основних виробничих фондів у державі уможливорює оптимізацію витрат на запобіжні заходи [29-31].

Незважаючи на відсутність уніфікованої методики і використання в розрахунках великої кількості припущень, застосування процедури оцінювання ризику – важливий інструмент для прийняття виважених та обґрунтованих рішень щодо створення системи безпеки суспільства.

#### Висновки до розділу 1

1. Ризик являє собою ситуативну характеристику діяльності будь-якого ринкового суб'єкта, що є наслідком невизначеності у його внутрішньому і зовнішньому середовищі. Джерелами виникнення ризику є соціально-економічні зміни, які виникають у процесі діяльності підприємства.

2. Методологічні підходи формування стратегії запобігання негативних наслідків базуються на розпізнаванні та кількісній й якісній оцінці ризику, контролем ризику та його фіксуванням, моніторингу впровадження стратегії запобігання негативних наслідків ризиків та визначення її ефективності.

3. Регулярний моніторинг ризиків дає змогу відстежувати зміни рівня безпеки небезпечних об'єктів упродовж їх життєвих циклів, отримувати реальні оцінки їх залишкового ресурсу, що в умовах обмежених фінансових ресурсів та значної зношеності основних виробничих фондів у державі уможливорює оптимізацію витрат на запобіжні заходи.

## РОЗДІЛ 2

### ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ АНАЛІЗУ ТА ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКУ

#### 2.1. Концептуально-методичний апарат аналізу та оцінювання ризику

Науково-технічний прогрес, пов'язаний із залученням у господарський обіг дедалі більшої кількості природних ресурсів, енергії, використанням складніших технологічних систем, характеризується зростанням кількості аварій і надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру, які спричинюють людські жертви, значні втрати майна, забруднення навколишнього середовища. Катастрофи у містах Беке (Нідерланди, 1975 р.), Севезо (Італія, 1976 р.), Сан-Хуан-Іксуатепек (Мексика, 1984 р.), Бхопал (Індія, 1984 р.), Чорнобиль (Україна, 1986 р.), Уфа (Росія, 1989 р.) показали важливість і необхідність оцінки безпеки об'єктів хімічної і нафтохімічної промисловості, так само, як і ядерно-енергетичних. Небезпека виникнення НС природного характеру також залишається високою. Землетруси, урагани, торнадо, цунамі, повені у США, Азії, Європі, забрали тисячі людських життів за останнє десятиліття, знищили величезну кількість будівель і споруд.

Єдиний вихід із положення, що склалося – реалізація на практиці нової ідеології протидії катастрофам, а саме – запровадження ризик-аналізу техногенних і природних надзвичайних ситуацій, планування і здійснення заходів щодо зниження ризиків виникнення надзвичайних ситуацій, пом'якшення їхніх наслідків в інтересах підвищення рівня безпеки особи, суспільства, навколишнього середовища. Така стратегія має бути забезпечена насамперед науково-методичним апаратом аналізу й оцінювання ризиків.

Значний внесок у вирішення проблем аналізу й оцінювання техногенних та екологічних ризиків зробили вітчизняні й закордонні вчені, у числі яких: Х. Кумамото, В. Маршалл, В. Бегун, А. Слохін, Н. Махутов, А. Качинський, Ф. Рагозин, М. Шахраманян, В. Акімов та ін. Аналіз природного

техногенного, екологічного ризиків заснований на застосуванні різних концепцій, методів і методик. Так, забезпечення безпеки життєдіяльності особи і суспільства ґрунтується на застосуванні концепцій сталого розвитку, прийняттого ризику та виправданого ризику (рис. 2.1) [32-34].

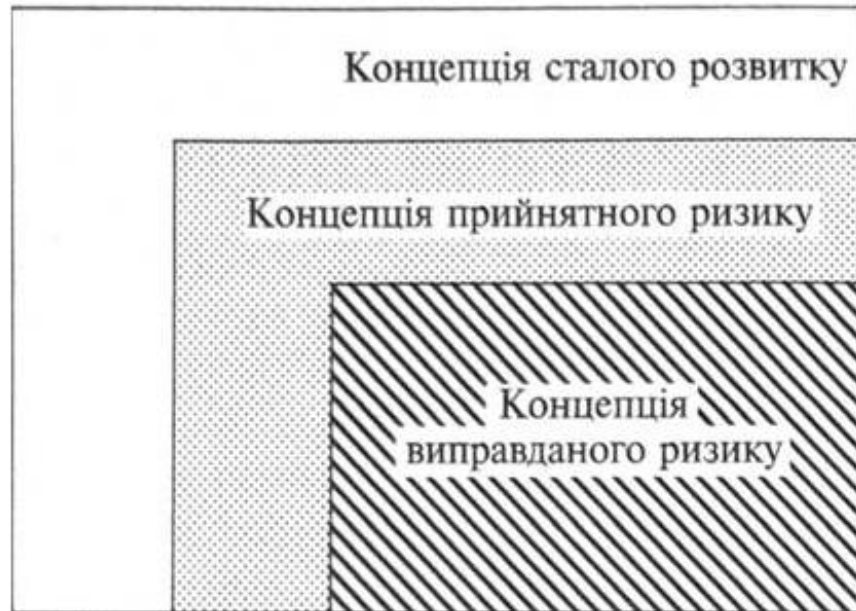


Рис. 2.1. Схема спільності концепцій забезпечення безпеки

Концепція сталого розвитку передбачає такий розвиток, який задовольняє потреби нинішніх поколінь і не піддає ризику спроможність майбутніх поколінь задовольняти свої потреби в ресурсах [35].

Метою сталого розвитку є досягнення високої якості життя на основі збалансованого розв'язання проблем соціально-економічного розвитку, збереження навколишнього природного середовища, раціонального використання і відтворення природно-ресурсного потенціалу країни.

Пріоритетним напрямом сталого розвитку є оптимізація життєдіяльності людства в умовах безпечного навколишнього природного середовища і гармонійних відносин як усередині суспільства, так і між окремими спільнотами. Вона передбачає врахування й коригування наслідків реалізації рішень в економічній, соціальній, екологічній сферах у бік їх ефективності для суспільства і довкілля.

Концепція прийняттого ризику є основою раціонального планування заходів щодо забезпечення безпеки нинішнього покоління людей з урахуванням соціальних та економічних чинників. Її метою є запровадження в Україні сучасних методів регулювання техногенної і природної безпеки населення й територій на основі ризик-орієнтованого підходу для зменшення кількості та мінімізації соціально-економічних наслідків надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру, забезпечення гарантованого рівня безпеки громадянина, суспільства.

Концепція прийняттого ризику передбачає визначення й обґрунтування рівнів прийнятних ризиків для населення, навколишнього природного середовища, об'єктів економіки. Її ще називають концепцією управління ризиками [36].

Стратегія управління ризиками надзвичайних ситуацій техногенного і природного походження може ґрунтуватися на виборі рівня ризику в межах значень ризиків від мінімального до прийняттого, визначених для конкретного об'єкта. Порівняння поточного значення ризику з прийнятним, визначення заходів щодо зменшення ризику, вплив на параметри джерел небезпек, оцінювання результативності вжитих заходів – необхідні складові управління ризиками. У разі зниження ризику обов'язково слід враховувати вартість заходів, призначених для зниження ймовірності виникнення і зменшення впливу наслідків надзвичайних ситуацій. Застосування показника ризику дає змогу порівнювати дію небезпечних чинників різної природи і різного виду, визначати з урахуванням внеску кожного окремого чинника інтегральний ступінь небезпеки будь-якого об'єкта, району, області, держави.

За своїм характером управління ризиками надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру є комплексним і спрямоване на зниження інтегрального ризику, обумовленого сумісною дією небезпечних техногенних і природних чинників.

Однак у рамках концепції прийняттого ризику ріст рівня життя членів суспільства може бути істотно обмежений, оскільки в разі її реалізації не

враховуються вигоди (суспільна корисність) від прогресивних технологій, які спочатку можуть бути поєднані з підвищеним ризиком для тих, хто їх реалізує. Це іноді призводить до відкидання громадськістю таких технологій в основному тому, що ризикують одні, а користь від цього отримують інші. Однак нові технології людство освоює у кінцевому підсумку, як засіб для подальшого підвищення рівня життя членів суспільства.

Тому як регулятор безпеки членів суспільства поряд із концепцією прийняттого ризику слід використовувати концепцію виправданого ризику, відповідно до якої прийнятним є суспільно виправданий ризик. При цьому члени суспільства, які безпосередньо ризикують, але їх безпека на даному етапі розвитку науки і техніки не може бути забезпечена на прийнятному рівні, отримують соціально-економічні компенсації від суспільства.

Співвідношення за рівнем прийняття рішень у рамках кожної концепції таке:

- концепція сталого розвитку – світ загалом і країни, що реалізують цю концепцію;
- концепція прийняттого ризику – держава і державні органи;
- концепція виправданого ризику – окрема людина і, до деякої міри, державні органи (у частині компенсації ризику).

Отже, забезпечення прийняттого рівня безпеки життєдіяльності особи, суспільства і навколишнього середовища в нашій державі, як і в більшості розвинених країн світової спільноти, ґрунтується на концепціях сталого розвитку, прийняттого ризику та виправданого ризику. Концепція прийняттого ризику стає домінуючою в регулюванні відносин у сфері техногенної і природної безпеки. У чинному законодавстві України нещодавно з'явилися директивні документи, які регламентують проведення аналізу й оцінювання ризику, декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки з урахуванням рівня їхньої небезпеки, що сприяє запобіганню виникнення аварій і надзвичайних ситуацій.

## 2.2. Концепції аналізу та оцінювання ризиків

Як уже зазначалося, поняття ризику пов'язують з можливістю людських жертв, травм, пошкоджень і матеріальних втрат. На практиці намагаються визначити інтегральний ризик – узагальнений показник комплексів загроз, які можуть реалізуватися за певних умов і спричинити надзвичайні ситуації на даній території, а також масштабність їхніх наслідків (збиток) за певний час внаслідок різних причин і сценаріїв розвитку аварій.

Визначення оцінки ризиків має ґрунтуватися на результатах контролю технічного стану потенційно небезпечних об'єктів, статистичних даних про відмови, інциденти, аварії і надзвичайні ситуації техногенного характеру, даних моніторингу небезпечних геологічних, гідрометеорологічних процесів, стану природних комплексів тощо, статистичних даних про стихійні природні явища, а також на результатах моделювання і прогнозування відповідних небезпечних подій, ситуацій.

Ризик у промисловій безпеці часто ототожнюють з імовірністю настання негативних подій за деякий період часу (як правило, за рік). Ймовірність у цьому разі є мірою ризику, вона зручна для порівняння ризиків одного об'єкта (суб'єкта) від різних подій чи для різних об'єктів (суб'єктів) у типових для них умовах функціонування (діяльності). Це так званий «технічний ризик». Аналіз сучасних теорій та методів показав, що для кількісної оцінки ризику необхідно визначати ймовірності виникнення небезпечних подій і збитки від них за реалізації різних сценаріїв розвитку аварій, спричинених цими подіями.

Кількісна оцінка природних, техногенних, екологічних ризиків створює сприятливе і необхідне підґрунтя для класифікації всіх господарських об'єктів і ранжування територій країни за ступенем небезпеки. Така оцінка дає можливість застосовувати до них правові норми й державні механізми адміністративного та економічного впливу пропорційно створюваній ними небезпеці з метою забезпечення прийнятного рівня ризику для досягнення

безпечної життєдіяльності суспільства. Це потребує розробки і застосування відповідного науково-методологічного апарату оцінювання ризиків. Дослідження у цій сфері активно розвиваються [37]. Прогнозування небезпечних подій і ситуацій здебільшого є основою запобігання НС.

Існуючий методологічний апарат оцінювання техногенних, природних та екологічних ризиків наведено на рис. 1.2.



Рис. 1.2. Методологічний апарат оцінки ризику

У практичній діяльності найчастіше застосовують концепції аналізу та оцінювання ризику, схарактеризовані нижче.

Технічна (технократична) концепція заснована на аналізі ймовірностей (відносних частот) виникнення аварій та збитків від них. У рамках цієї концепції ризик розглядають як ймовірність реалізації загрози і виникнення збитку. Кількісна оцінка ймовірностей аварій ґрунтується на теорії надійності технічних систем із залученням методів теорії ймовірностей, математичної статистики і сучасних обчислювальних засобів. Аварії та НС призводять до наслідків різного характеру. З цієї причини потрібно мати єдину міру збитків або критерії, які зводять різні наслідки до єдиного базису.

Економічна концепція, у рамках якої аналіз ризику розглядають як частину загальнішого затратно-прибуткового дослідження. В останньому ризиками є очікувані втрати корисності, що виникають унаслідок деяких подій або дій. В економічній теорії ризик розглядають як невизначеність, пов'язану з ухваленням рішень, що реалізуються протягом певного часу. Кінцева мета полягає в розподілі ресурсів таким чином, щоб максимізувати їхню корисність для суспільства.

Соціальна концепція заснована на соціальній інтерпретації небажаних наслідків з урахуванням групових цінностей та інтересів, особливостях сприйняття ризику. Соціологічний аналіз ризику пов'язує сприйняття суспільством різних видів небезпеки з особистими чи суспільними інтересами і цінностями. Система людських цінностей є дуже динамічною і, як засвідчує практика, у вирішенні завдань аналізу ризику різні активні групи мають різні погляди щодо обговорюваних питань.

Психологічна концепція концентрується довкола досліджень щодо індивідуального сприйняття ризику, щоб пояснити, чому люди реагують відповідно до їх сприйняття ризику, а не відповідно до об'єктивного рівня ризику чи його наукової оцінки. Схильність чи несхильність людини до ризику залежить від психологічних рис її характеру.

### 2.3. Дослідження методів аналізу та оцінювання ризиків

У рамках технічної (технократичної) концепції після ідентифікації джерел небезпеки або виявлення можливих загроз необхідно оцінити їх рівень і наслідки, до яких вони можуть призвести, тобто ймовірність відповідних подій і пов'язаний з ними потенційний збиток. Для цього застосовують методи оцінювання ризику, які в загальному випадку поділяються на феноменологічні, детерміністичні та ймовірнісні.

Феноменологічний метод ґрунтується на визначенні можливості перебігу аварійних процесів, виходячи з результатів аналізу необхідних і достатніх умов, пов'язаних із реалізацією тих чи інших законів природи. Цей метод простий у застосуванні і дає надійні результати, якщо робочі стани і процеси такі, що можна з достатнім запасом визначити реальний стан компонентів розглядуваної системи. Метод стає ненадійним поблизу меж різкої зміни стану речовин і систем. Характерним прикладом застосування такого методу є методика прогнозування наслідків виліву (викиду) небезпечних хімічних речовин під час аварій на хімічно небезпечних об'єктах і транспорті [38]. В її основу покладено знання про хімічні й фізичні особливості небезпечних хімічних речовин, які застосовують у виробничих процесах, та реальні метеорологічні умови.

У практиці феноменологічний метод досить ефективно застосовують для порівняння запасів безпеки різних типів потенційно небезпечних об'єктів, але він малопридатний для аналізу розгалужених аварійних процесів, розвиток яких залежить від надійності тих чи інших частин об'єкта або засобів його захисту.

Детерміністичний метод передбачає наявність достатніх знань щодо послідовності етапів розвитку аварій, починаючи від вихідної події через послідовність передбачуваних стадій відмов, деформацій і руйнування компонентів до сталого кінцевого стану системи. Хід аварійного процесу аналізують і прогнозують за допомогою методів математичного

моделювання, побудови імітаційних моделей і проведення складних розрахунків. Детерміністичний підхід забезпечує наочність і психологічну прийнятність, оскільки дає змогу виявити основні чинники, які визначають хід процесу. Характерною його ознакою є побудова детермінованих моделей, під якими розуміють такі моделі, в яких кожна змінна чи параметр може набувати визначеного фіксованого значення або низки фіксованих значень за будь-яких заданих умов.

Недоліки методу полягають у тому, що існує потенційна небезпека не зафіксувати важливі, але рідкісні ланцюжки подій у розвитку аварії. Крім того, побудова достатньо адекватних математичних моделей аварійних процесів – дуже складне завдання навіть за сучасного рівня розвитку обчислювальної техніки.

Ймовірнісний метод ґрунтується на аналізі випадкових, стохастичних подій, тобто таких подій, які в разі реалізації певної сукупності умов можуть відбутися або не відбутися. Він передбачає визначення як оцінки ймовірності виникнення аварії, так і розрахунок імовірностей того чи іншого шляху розвитку процесів, інакше кажучи – сценаріїв розвитку аварій. Ймовірності відповідного сценарію розвитку аварій оцінюють за допомогою методів теорії ймовірностей, математичної статистики, теорії випадкових процесів, теорії надійності, «дерева подій», «дерева відмов», а також методів суб'єктивної логіки (експертних оцінок). Ці методи отримали широку популярність при аналізі складних систем [18-20]. Вони дають змогу враховувати оцінки різних аспектів у разі аналізу безпеки аварій.

Основні обмеження ймовірнісного аналізу ризику пов'язані з недостатністю відомостей про функції розподілу параметрів випадкових величин, а також недостатньою статистикою щодо відмов устаткування і виникнення різних негативних подій.

Розрахункові математичні моделі за цього підходу можна значно спростити порівняно з детерміністичними схемами розрахунку. На відміну від детерміністичних, ймовірнісні моделі припускають невизначеність.

Ймовірнісний метод нині поширений в аналізі безпеки атомних електростанцій [32]. Так, Міжнародне агентство з атомної енергії (МАГАТЕ) розробило рекомендації щодо визначення безпеки АЕС на основі ймовірнісних моделей. Застосування ймовірнісного методу вважають одним із найперспективніших для аналізу безпеки в інших галузях промисловості та енергетики за умови систематичного накопичення статистичної інформації про відмови обладнання й НС. Знаючи ймовірність виникнення аварій та очікувану величину втрат, можна запобігти тяжким катастрофам, передбачити ефективні компенсаційні механізми.

Конструктивне поєднання феноменологічного, ймовірнісного і детерміністичного методів є теоретико-методичною основою для розробки різних моделей і методик оцінювання ризиків для населення, майна і навколишнього середовища. Вибір конкретного методу і методики оцінювання ризику залежить від окремої ситуації. Як наслідок існує значна кількість методик оцінювання ризику залежно від мети їх застосування.

#### 2.4. Дослідження моделей аналізу та оцінювання ризиків

На основі ймовірнісного методу можна будувати різні моделі й методики оцінювання техногенного, природного та екологічного ризиків для населення і територій, які залежно від наявної (використаної) вихідної інформації поділяють на:

- статистичні, коли для визначення ймовірності застосовано частотний підхід, у якому емпіричним аналогом об'єктивно існуючої ймовірності  $P(A)$  будь-якої події  $A$  є відносна частота її реалізації в низці з  $n$  незалежних випробувань;
- теоретико-ймовірнісні, які використовують для оцінювання ризиків подій, коли статистика практично відсутня;
- евристичні, засновані на використанні експертних оцінок, що часто застосовують для оцінювання інтегральних (комплексних) ризиків від

сукупності небезпек, коли немає (чи не повністю є) не тільки статистичні дані, а й матмоделі (чи моделі, наближені з відносно низькою точністю).

На відміну від детерміністичних моделей статистичні, теоретико-ймовірнісні та евристичні припускають невизначеність.

Найпоширенішими вітчизняними методиками аналізу небезпеки й оцінювання ризиків є: «Методика прогнозування наслідків виливу (викиду) небезпечних хімічних речовин під час аварії на хімічно небезпечних об'єктах і транспорті» [38], «Методика визначення ризиків та їх прийнятних рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки» [39], «Методика оцінки збитків від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру» [40], а також застосовувані багатьма науковцями і фахівцями при аналізі інтегральних рівнів небезпеки територій «Методика оцінювання ризиків виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру та пожеж» [41].

«Методика прогнозування наслідків виливу (викиду) небезпечних хімічних речовин під час аварії на хімічно небезпечних об'єктах і транспорті» призначена для прогнозування масштабів забруднення територій у разі аварій з небезпечними хімічними речовинами на промислових об'єктах, автомобільному, річковому, залізничному і трубопровідному транспорті, може бути використана для розрахунків на морському транспорті, якщо хмара НХР за аварії на ньому може дістатись прибережної зони, де живуть люди. Методику застосовують тільки для НХР, які зберігаються у газоподібному чи рідкому стані, та які в момент виливу (викиду) переходять у газоподібний стан і створюють первинну або (і) вторинну хмару НХР. Вона передбачає проведення розрахунків для планування заходів щодо захисту населення тільки на висоті до 10 м над поверхнею землі.

Відповідно до закону «Про об'єкти підвищеної небезпеки» [28] у Мінпраці та соціальної політики України розроблено «Методику визначення ризиків та їх прийнятних рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки», яка визначає порядок проведення аналізу небезпеки об'єктів підвищеної небезпеки на основі оцінок ризику та рівні прийнятних

ризиків. Для визначення рівня ризику на всіх етапах його аналізу автори методики рекомендують застосовувати будь-які відомі в науково-технічній, довідковій і методичній літературі методи розрахунку й оцінювання небезпек, наслідків і ризику для об'єктів «турботи» за умови обґрунтування їх застосування.

Знаючи ймовірність виникнення аварій та очікувані розміри втрат, можна запобігти тяжким катастрофам, ослабити їх силу, передбачити ефективні компенсаційні механізми. Визначення оцінок ризиків має ґрунтуватися на результатах контролю технічного стану небезпечних техногенних об'єктів, їхнього устаткування, якості обслуговування, даних моніторингу небезпечних геологічних і гідрометеорологічних процесів, стану природних комплексів тощо, статистичних даних про відмови, інциденти, аварії і НС техногенного характеру, стихійні природні явища, а також на результатах моделювання відповідних небезпечних подій і ситуацій.

## Висновки до розділу 2

1. Забезпечення прийняттого рівня безпеки життєдіяльності особи, суспільства і навколишнього середовища в нашій державі ґрунтується на концепціях сталого розвитку, прийняттого ризику та виправданого ризику.

2. Кількісна оцінка природних, техногенних, екологічних ризиків створює сприятливе і необхідне підґрунтя для класифікації всіх господарських об'єктів і ранжування територій країни за ступенем небезпеки.

3. Конструктивне поєднання феноменологічного, ймовірнісного і детерміністичного методів є теоретичною основою для розробки моделей оцінювання ризиків для населення, майна і навколишнього середовища.

4. Порушені проблеми аналізу безпеки й оцінювання ризику найчастіше досліджують із застосуванням методів системного аналізу, теорії ймовірностей, математичної статистики, теорії надійності, методів теорії нечітких множин та нечіткої логіки тощо.

## РОЗДІЛ 3

### УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ АНАЛІЗУ ТА ОЦІНЮВАННЯ ТЕХНОГЕННОГО РИЗИКУ

#### 3.1. Загальна структура аналізу техногенного ризику

Аналіз та оцінювання ризиків у сфері техногенної безпеки є основою системи управління безпекою технічних і технологічних систем різних типів і рівнів. Вони включають такі основні завдання: обґрунтування цілей і завдань аналізу ризику; аналіз технологічних особливостей виробничого об'єкта; виявлення всіх джерел небезпеки; визначення подій, здатних ініціювати виникнення аварій; формування ймовірних сценаріїв розвитку аварій; аналіз сценаріїв; оцінювання ймовірності виникнення аварії для кожної події, що ініціює аварію; визначення чинників ураження; моделювання і прогнозування масштабів наслідків аварій для населення, навколишнього середовища за сценаріями розвитку аварій; оцінювання ймовірностей впливу зовнішніх чинників, які не залежать від умов експлуатації ПНО; оцінювання й аналіз ризику щодо його прийнятності; побудова полів потенційного ризику навколо кожного з виділених джерел небезпеки; визначення достатності превентивних заходів для забезпечення стійкості об'єктів до внутрішніх і зовнішніх впливів.

Концептуальну основу аналізу техногенного ризику можна подати схемою (рис. 3.1). Під час аналізу безпечності потенційно небезпечних об'єктів безпеку часто розглядають як надійність стосовно здоров'я й життя людей, стану навколишнього середовища. По-перше, за певних умов ці поняття тісно пов'язані (наприклад, коли порушення роботоздатного стану об'єкта може призвести до аварійних або катастрофічних наслідків). По-друге, такий підхід дає змогу використати кількісні показники безпеки, аналогічні в математичному відношенні показникам теорії надійності, методи якої розроблені досить повно й широко застосовуються на практиці.



Рис. 3.1. Загальна схема аналізу техногенного ризику

Проте безпека системи на відміну від її надійності, яка визначає внутрішні властивості системи, включає не тільки внутрішні, а й зовнішні впливи, людський чинник, тому вважають, що методологічно теорія безпеки ширша за теорію надійності.

Надійність є показником здатності системи зберігати свої істотні технічні характеристики у заданих межах упродовж фіксованого інтервалу часу за певних умов експлуатації. Вона ґрунтується на повторюваності подій, які мають небезпечні наслідки. Як показник надійності розглядають імовірність безвідмовної роботи або середню тривалість безвідмовної роботи.

Об'єктами моделювання в разі аналізу техногенної безпеки (ризiku) є множина випадкових подій виробничих процесів ПНО та їх несприятливого збігу, що призводить до смерті людей чи травмувань або до забруднення навколишнього середовища.

### 3.2. Дослідження показників надійності, безпеки та ризику

До показників надійності та безпеки належать кількісні характеристики надійності, які визначають відповідно до правил статистичної теорії надійності, теорії ймовірностей і математичної статистики. Сфера застосування цієї теорії обмежена багатосерійними об'єктами, які виготовляють і експлуатують у статистично однорідних умовах і до сукупності яких можна застосувати статистичне тлумачення ймовірності.

Застосування статистичної теорії надійності до унікальних й малосерійних об'єктів обмежене. Ця теорія застосовна для одиничних відновлюваних, в яких допускаються багаторазові відмови і для опису яких застосовують модель потоку випадкових подій (у тім числі рідкісних подій, коли проводять аналіз критичних або аварійних відмов). Статистичну теорію застосовують також до унікальних і малосерійних об'єктів, які, у свою чергу, складаються з об'єктів масового виробництва. У цьому разі показники надійності об'єкта розраховують методами статистичної теорії за відомими показниками надійності й безпеки компонентів та елементів об'єкта.

Розглядаючи відмову як випадкову подію, зручною **мірою надійності** технічних об'єктів фахівці вважають **ймовірність без відмовної роботи системи** (і мірою безпеки визнають імовірність безаварійної роботи).

Як відомо, ймовірність реалізації події в час  $t$  визначають за формулою

$$F(t) = \int_0^t f(t)dt. \quad (3.1)$$

$F(t)$  називають функцією розподілу випадкової величини  $T$  або інтегральним законом розподілу випадкової величини;  $f(t)$  – щільністю розподілу, або диференціальним законом розподілу випадкової величини. На практиці часто застосовують величину, що визначається через функцію розподілу так:

$$P(t) = 1 - F(t). \quad (3.2)$$

У теорії надійності так визначають ймовірність безвідмовної роботи.

**Ймовірність безвідмовної роботи** – це ймовірність того, що в межах заданого напрацювання відмова об'єкта не виникне. Ймовірність безвідмовної роботи визначають за припущення, що в початковий момент часу об'єкт знаходився у роботоздатному стані.

Якщо позначити через  $t$  час або напрацювання об'єкта, і виникнення першої відмови розглядати як випадкову подію, а напрацювання від

початкового моменту до виникнення цієї події  $\tau$  – теж як випадкову величину, то ймовірність безвідмовної роботи об'єкта в інтервалі часу  $0 - t$  (включно) визначають як

$$P(t) = P(\tau > t). \quad (3.3)$$

У технічній літературі цю функцію називають **функцією надійності**.

Аналогічно для технічних об'єктів визначають імовірність безаварійної роботи:

$$S(t) = S(T > t), \quad (3.4)$$

Розглядаючи аварію як відмову через перехід об'єкта в граничний стан (який встановлюється з міркувань безпеки), а напрацювання (або час) від початкового моменту до досягнення граничного стану як ресурс  $T$  (або строк служби). Функцію  $S(t)$  у цьому разі називають (за аналогією з функцією надійності) функцією безпеки.

У загальному випадку, коли стан об'єкта характеризується набором параметрів (наприклад, вектором  $u(t)$ ) із допустимою за умовами безпеки областю значень цих параметрів  $\Omega$  (рис. 3.2), функцію безпеки  $S(t)$  визначають за ймовірністю випадкової події, яка полягає в тім, що в інтервалі часу  $[0, t]$  жодного разу не виникне аварійна ситуація (тобто параметри  $u(t)$  не вийдуть за межі допустимої області  $\Omega$ , обмеженої поверхнею  $\Omega_s$ ):

$$S(t) = S\{u(t_1) \in \Omega, t_1 \in [0, t]\}. \quad (3.5)$$

Функція безпеки  $S(t)$  пов'язана з функцією розподілу  $F(t)$  і щільністю розподілу  $f(t)$  випадкової величини  $T$  співвідношеннями

$$F(t) = 1 - S(t), f(t) = dF(t)/dt = -dS(t)/dt. \quad (3.6)$$

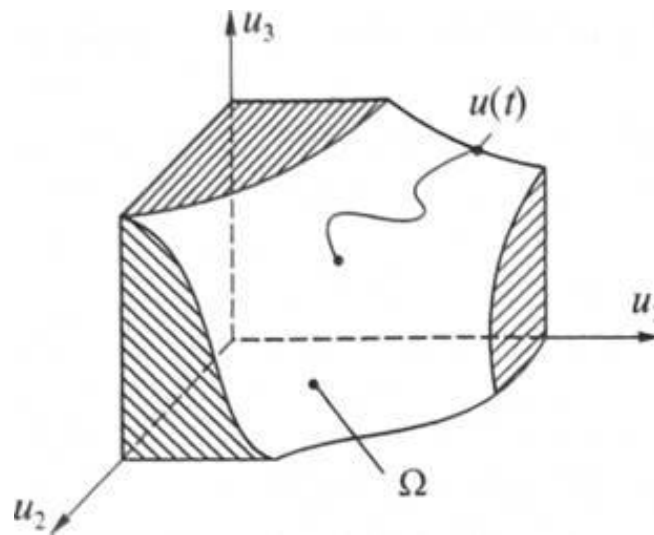


Рис. 3.2. Безпечний стан об'єкта у тривимірному просторі параметрів  
( $u(t)$  – траєкторія зміни параметрів об'єкта)

Доповнення функції безпеки  $S(t)$  до одиниці (тобто функція розподілу випадкової величини  $T$  у теорії ймовірностей) у теорії безпеки й ризику

$$1 - S(t) = F(t) \quad (3.7)$$

називають **функцією небезпеки, або технічним ризиком**.

Цю функцію особливо часто використовують інженери стосовно відмов об'єктів або сукупностей відмов, наслідки яких становлять небезпеку для людей, навколишнього середовища, а також пов'язані із серйозним матеріальним і (або) моральним збитком.

Статистичну оцінку  $\hat{f}(t)$  для щільності розподілу  $f(t)$  випадкової величини  $T$  здебільшого встановлюють так:

$$\hat{f}(t) = \frac{n(t + \Delta t / 2) - n(t - \Delta t / 2)}{N\Delta t}, \quad (3.8)$$

де  $N$  – число об'єктів, робоздатних у початковий момент часу;  
 $n(t + \Delta t / 2)$  – число об'єктів, що переходять у граничні стани в інтервалі  $0 - (t + \Delta t / 2)$ ;  $n(t - \Delta t / 2)$  – число об'єктів, що переходять у граничні стани в інтервалі  $0 - (t - \Delta t / 2)$ .

Час  $t$  під час оцінювання ризику зазвичай обчислюють у роках, тому величина  $f(t)$  має зміст річної відносної частоти аварій  $v(t)$ . З формули (3.8) випливає співвідношення для наближеної оцінки технічного ризику.

Показник гамма-відсотковий ресурс (гамма-відсотковий строк служби) визначають як корінь рівняння

$$F(t) = 1 - \gamma/100, \quad (3.9)$$

де  $\gamma$  – задане значення ймовірності безаварійної роботи, %.

Зокрема, гамма-відсотковий ресурс обчислюють за рівнянням

$$S(t) = \gamma/100. \quad (3.10)$$

Як видно з формули (3.9), гамма-відсоткові показники дорівнюють квантилям відповідних розподілів. Значення  $\gamma$ , що задаються, для критичних відмов мають бути досить близькими до 100 %, щоб критичні відмови стали практично неможливими подіями.

Для прогнозування потреби в запасних частинах, а також для розрахунку поповнення й відновлення парків машин, приладів і установок можуть знадобитися гамма-відсоткові показники за нижчих значень  $\gamma$ . Статистичні оцінки для гамма-відсоткових показників можна отримати на основі статистичних оцінок або безпосередньо, або після апроксимації емпіричних функцій відповідними аналітичними розподілами. Слід мати на увазі, що екстраполяція емпіричних результатів за межі тривалості випробувань (спостережень) може призвести до значних помилок. Залучення додаткової інформації щодо фізичної природи аварійних ситуацій для їх моделювання дає змогу розв'язувати ці проблеми.

Показники середній ресурс, середній строк служби дорівнюють математичним сподіванням відповідних випадкових величин (ресурсу). З урахуванням залежностей (3.6) середній ресурс  $T_c$  обчислюють за формулою

$$T_c = \int_0^{\infty} t f(t) dt = \int_0^{\infty} [1 - F(t)] dt. \quad (3.11)$$

Інтенсивність технічного ризику  $\lambda(t)$  у теорії безпеки за аналогією з інтенсивністю відмов у теорії надійності визначають за виразом

$$\lambda(t) = f(t)/[1 - F(t)] = -S'(t)/S(t). \quad (3.12)$$

Звідси після перетворень ймовірність безаварійної роботи в інтервалі часу від початку експлуатації до деякого моменту  $t$  визначають за формулою

Усі вищенаведені характеристики взаємозалежні.

Інтенсивність технічного ризику  $\lambda(t)$  є важливою характеристикою у теорії безпеки, оскільки вона визначає ймовірність того, що після безвідмовної роботи об'єкта до моменту часу  $t$  аварія відбудеться в наступному інтервалі часу  $\Delta t$ . Цей показник і його наближені статистичні оцінки широко використовують для аналізу небезпеки (ризик) об'єктів у процесі експлуатації (рис. 3.3).

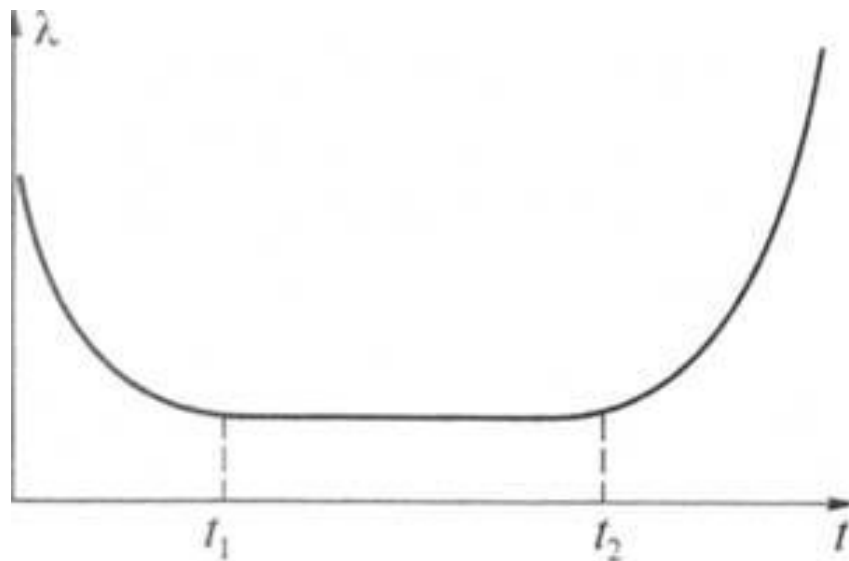


Рис. 3.3. Залежність зміни інтенсивності відмов системи від напрацювання  $t$

Статистичну оцінку інтенсивності технічного ризику  $\lambda(t)$  розраховують так:

$$S(t) = S(0) \exp \left[ - \int_0^t \lambda(t_1) dt_1 \right]. \quad (3.13)$$

$$\hat{\lambda}(t) = \frac{n(t + \Delta t / 2) - n(t - \Delta t / 2)}{[N - n(t)] \Delta t} \quad (3.14)$$

Однак на практиці для оцінки інтенсивності  $\lambda(t)$  використовують наближені оцінки, виходячи з того, що для високонадійних систем  $S(t) \approx 1$ . Тому інтенсивність технічного ризику приблизно дорівнює щільності розподілу ресурсу, що приводить до таких наближених оцінок:

$$\lambda(t) \approx f(t) \approx \hat{f}(t) = v(t).$$

Оскільки час  $t$  в разі оцінювання ризику як правило обчислюють у роках, то величина  $\lambda(t)$  має зміст річного технічного ризику і фактично збігається зі значенням умовного індивідуального ризику за рік, за еквівалентності подій аварії та смерті індивідуума у результаті аварії. У разі рідкісних подій умовний індивідуальний ризик (за рік) приблизно дорівнює річній відносній частоті аварій.

У технічній літературі є статистичні дані щодо частоти та інтенсивностей відмов (у т. ч. аварійних), які можна використати для апріорних і прогнозних оцінок технічних ризиків і тим самим – індивідуальних ризиків. Можна скористатись також середнім річним технічним ризиком як відношенням  $F(T)/T$ , де  $F(T)$  – ймовірність реалізації аварії за час  $T$ . Такі показники безпеки часто застосовують в авіації, атомній енергетиці.

Якщо інтенсивність технічного ризику  $\lambda(t) = \text{const}$ , тобто стала у часі, то з формули (3.13) за  $S(0) = 1$  впливає експоненціальний закон безпеки, який широко застосовують для розрахунків так званих нестаріючих об'єктів:

$$S(t) = \exp(-\lambda t), \quad (3.15)$$

де  $\lambda = 1/T_c$ ;  $T_c$  – математичне сподівання ресурсу (середній ресурс).

Часто зміна інтенсивності технічного ризику (відмов або параметра потоку відмов) з часом набуває такого характеру: спочатку інтенсивність відносно велика, потім знижується (цей період називають періодом припрацювання) і залишається приблизно сталою упродовж тривалого інтервалу експлуатації, збільшуючись до кінця його внаслідок старіння й зношування (див. рис. 3.3).

Якщо  $t < t_1$ , то відбувається припрацювання, число відмов зменшується, що обумовлено поступовим виявленням і усуненням прихованих дефектів. Якщо  $t \in (t_1, t_2)$ , то  $\lambda(t) = \text{const}$ , період сталої експлуатації. За  $t > t_2$   $\lambda(t)$  зростає, відмови трапляються дедалі частіше.

Крім експоненціальної, широко застосовують також модель надійності, в основу якої покладено розподіл Вейбулла:

$$S(t) = \exp[-(\lambda t)^\beta], \quad (3.16)$$

де  $\lambda = 1/T_c$ ;  $T_c$  – математичне сподівання ресурсу (строку служби);  $\beta$  – додатний параметр, варіювання якого дає змогу описати широкий клас розподілів. За  $\beta > 1$  розподіл Вейбулла описує поведінку «старіючих» об'єктів, у яких інтенсивність відмов згодом наростає.

У розрахунках аварійності об'єктів, які накопичують пошкодження в процесі експлуатації, використовують також  $\gamma$ -розподіл і логарифмічно нормальний розподіл.

### 3.3. Удосконалення методики оцінювання безпеки об'єкта на основі методів теорії нечітких множин та нечіткої логіки

Класифікація математичних методів розв'язку задач в умовах невизначеності показала, що в основу сучасних систем підтримання прийняття рішень покладено методи системного аналізу, експертних систем, теорії нечітких множин і нечіткої логіки, на основі яких розроблено методику оцінювання небезпеки складного об'єкта.

Останнім часом нечітке управління є однією з найбільш результативних сфер досліджень застосування теорії нечітких множин. Нечітке управління виявляється особливо корисним, коли технологічні процеси занадто складні для аналізу за допомогою загальноприйнятих кількісних методів або коли доступні джерела інформації інтерпретуються на якісному рівні, неточно чи невиразно.

Нечітка логіка, на якій ґрунтується нечітке управління, ближче за духом до людського мислення і вживаних мов, ніж традиційні логічні системи. Нечітка логіка в основному забезпечує ефективні засоби відображення невизначеностей і неточностей реального світу. Автори праці [42] запропонували підхід до оцінювання стану безпеки і ступеня роботоздатності складного об'єкта на основі нечіткої логіки.

**Побудова моделі складного об'єкта.** У процесі вирішення завдання оцінювання стану деякого об'єкта будують його математичну модель. Під час побудови моделі виходитимемо з того, що будь-який об'єкт можна характеризувати складними і простими властивостями. Прості властивості кваліфікуються дослідником як щось елементарне, що можна виміряти або оцінити експертно. Складні властивості безпосередньо не можуть бути оцінені, але можуть поділитися на менш складні, зокрема на елементарні властивості. Отже, у процесі моделювання складніші властивості виражають через простіші. Зазначимо, що наша модель належить до класу імітаційних.

Оскільки йдеться про оцінювання безпеки (стану) ПНО, то можна вважати, що стан об'єкта (складна властивість) залежить від низки простіших властивостей. Наприклад, стан об'єкта виробничої діяльності (складна властивість) залежить від ступеня зношеності устаткування, ефективності та якості технологічного процесу, або оцінювання стану на дорогах (складна властивість) залежить від кількості і тяжкості наслідків ДТП. У свою чергу, ці властивості можуть залежати від стану визначених вузлів об'єкта.

Стан окремих вузлів оцінюватимемо, ґрунтуючись на результатах вимірів (експертних оцінках) відповідних параметрів (елементарні властивості). Підкреслимо, що параметри моделі, а також зв'язки між ними описуються за допомогою апарату нечіткої логіки. Крім того, зазначимо, що перед використанням у моделі треба провести фазифікацію вхідних параметрів, а після, для отримання остаточного результату, – дефазифікацію.

Нехай у розглянутому об'єкті (У) виділено основні властивості (якості) (А, В), вузли (D, F, A) і вимірювані параметри ( $d_1, d_2, f_1, f_2, f_3, k_1, k_2, k_3$ ).

У процесі моделювання визначають структуру моделі і тип зв'язків між її параметрами. Для зв'язування використовують операції кон'юнкції (тісний зв'язок) і диз'юнкції (менш тісний зв'язок). Нехай у результаті проведеного аналізу отримано модель досліджуваного об'єкта, наведену на рис. 3.4. Наприклад, у цій моделі враховано як стани конкретних вузлів (D, F, K), так і різні якісні поняття (A, B). У процесі аналізу дослідник може дійти висновку, що стан деяких вузлів об'єкта впливає відразу на кілька різних властивостей.

У такій ситуації в разі виявлення причинно-наслідкових зв'язків видається правомірним не шукати відповідь на запитання, з якою однією властивістю зв'язати такий вузол, а зв'язати його з усіма тими властивостями, на які він впливає. Саме таке розуміння ситуації ілюструє рис. 3.4, де вузли D, F, K повторюються.

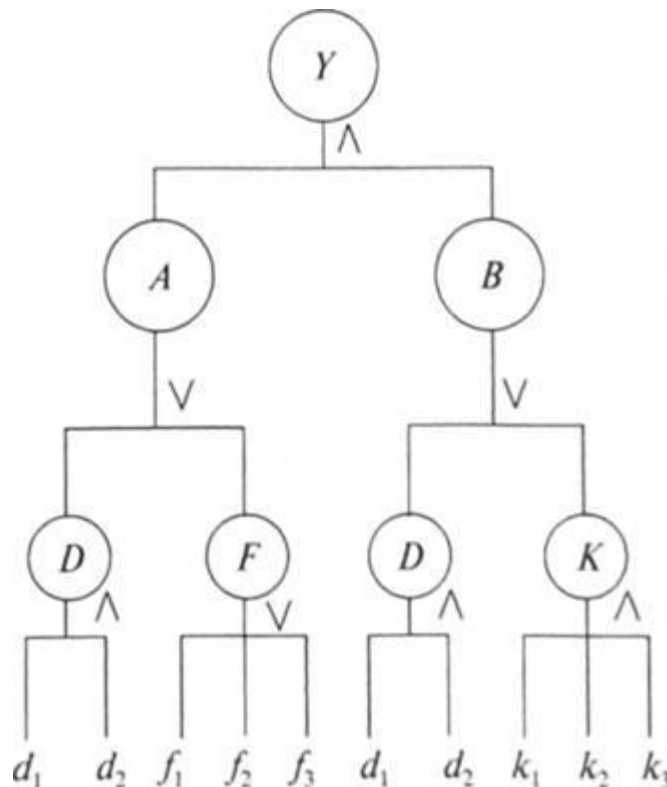


Рис. 3.4. Структурна модель об'єкта

Варто підкреслити, що вимірювані параметри  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $f_1$ ,  $f_2$ ,  $f_3$ ,  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$ , вузли D, F, K, властивості A, B та об'єкт Y є нечіткими множинами однакової розмірності, визначеними на одному універсумі. Позначимо універсум E. Слід також наголосити, що в нашому прикладі функції належності можуть набувати значень в інтервалі  $[0, 1]$ .

Як уже зазначалось, невизначеність у розумінні структури моделі може бути формалізована за допомогою багаторазового введення змінних у структуру моделі. Проаналізуємо можливості нечіткої логіки щодо обчислення оцінки ступеня роботоздатності об'єкта, у моделі якого є структурна невизначеність.

Розглянемо можливості двох основних підходів, які трапляються найчастіше, на прикладі розглянутої моделі.

Обчислення диз'юнкції і кон'юнкції за допомогою операцій «шах» і «min» (об'єднання і перетин нечітких множин):

$$\mu_{A \vee B}(x) = \mu_{A \cup B}(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x)), \quad \forall x \in E; \quad (3.17)$$

$$\mu_{A \wedge B}(x) = \mu_{A \cap B}(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x)), \quad \forall x \in E. \quad (3.18)$$

Важливо підкреслити, що за наведеного визначення диз'юнкції і кон'юнкції зберігаються всі основні еквівалентності класичної логіки за винятком таких:  $A \vee \neg A = E$ ,  $A \wedge \neg A = \emptyset$ . Тут і в (3.19) диз'юнкцію і кон'юнкцію, застосовані до нечітких множин, розуміють як об'єднання і перетин відповідно, що уможлиблює перетворення формул. Наприклад, розглянуту модель об'єкта можна мінімізувати (спростити) у такий спосіб:

$$\begin{aligned} Y = A \wedge B &= (D \vee F) \wedge (D \vee K) = D \vee (F \wedge K) = \\ &= (d_1 \wedge d_2) \vee ((f_1 \vee f_2 \vee f_3) \wedge (k_1 \wedge k_2 \wedge k_3)), \end{aligned} \quad (3.19)$$

або мовою функцій належності:

$$\begin{aligned} \mu_Y(x) &= \max(\mu_D(x), \min(\mu_F(x), \mu_K(x))) = \\ &= \max(\min(\mu_{d_1}(x), \mu_{d_2}(x)), \min(\max(\mu_{f_1}(x), \mu_{f_2}(x), \mu_{f_3}(x)), \\ &\quad \min(\mu_{k_1}(x), \mu_{k_2}(x), \mu_{k_3}(x))))), \quad \forall x \in E. \end{aligned} \quad (3.20)$$

Однак слід зауважити, що визначення диз'юнкції і кон'юнкції за допомогою операцій «max» і «min» (3.17), (3.18) є «твердим» у тому розумінні, що в цьому разі враховується значення тільки однієї зі змінних, що беруть участь у зв'язуванні. Справді, з формули (3.20) видно, що коли,

наприклад,  $\mu(k_3) = 0,2$ , то будь-яка зміна значень інших параметрів в інтервалі  $[0,2; 1]$  не впливатиме на кінцевий результат. Водночас видається очевидним, що на практиці зміну значення кожного з параметрів треба враховувати при оцінюванні ступеня роботоздатності об'єкта.

Для подолання зазначених труднощів у вирішенні подібних завдань у теорії нечітких множин (нечіткій логіці) пропонується використовувати так назване «м'яке» визначення диз'юнкції і кон'юнкції. Розглянемо властивості цього визначення, яке також називають алгебраїчним добутком і сумою нечітких множин.

Алгебраїчний добуток і сума нечітких множин (змінних):

$$\begin{aligned}\mu_{A \vee B}(x) &= \mu_{A+B}(x) = \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) \mu_B(x), \quad \forall x \in E; \\ \mu_{A \wedge B}(x) &= \mu_{AB}(x) = \mu_A(x) \mu_B(x), \quad \forall x \in E.\end{aligned}\tag{3.21}$$

За такого визначення диз'юнкції і кон'юнкції, безумовно, враховується вплив усіх змінних на кінцевий результат, однак у цьому разі істотний мінус полягає в тім, що не виконується вже значно більше еквівалентностей, властивих класичній логіці, а саме ідемпотентність і дистрибутивність.

Очевидно, що це значно знижує можливості для перетворення, спрощення складних логічних формул, унаслідок чого мінімізувати побудовану модель так, як це було зроблено раніше, не можна.

Із розглянутого вище випливає, що в рамках розв'язуваної задачі для побудованої моделі потрібно скористатися диз'юнкцією і кон'юнкцією у вигляді (3.20), (3.21.), оскільки це не призводить до втрати вузлів, а також дає змогу враховувати вплив усіх вхідних. Запропонований підхід побудови моделі комплексного оцінювання стану безпеки об'єкта із застосуванням апарату нечіткої логіки досить простий як на етапі моделювання, так і на етапі використання. Розглянуто також можливості використання різних визначень логічних операцій, у кожного з яких є як переваги, так і недоліки.

Визначення диз'юнкції і кон'юнкції, відповідно як шах і min, дає великі можливості для мінімізації моделі. Однак при цьому враховується значення тільки однієї змінної у зв'язуванні. За спрощення моделі можна також прийти

до того, що деякі вузли «скоротяться», тобто деякі вузли, внесені в модель на етапі проектування, ніяк не впливають на вихідний стан моделі об'єкта.

Якщо ж визначені диз'юнкція і кон'юнкція як алгебраїчна сума і добуток, то враховується вплив усіх змінних. Однак у цьому разі значно знижується можливість спрощення побудованої моделі, тому вона описується громіздкою формулою.

У зв'язку з цим модель об'єкта рекомендується розробляти, виходячи як з особливостей і властивостей самого об'єкта, так і використовуваних логічних операцій.

### 3.4. Алгоритми побудови моделі комплексного оцінювання безпеки об'єкта

Виділяють три алгоритми побудови моделі для оцінки безпеки об'єкта.

Перший алгоритм є *алгоритмом синтезу*, тобто модель будується знизу вгору, виходячи з параметрів, які можуть бути оцінені за даними, що зберігаються в базі даних (БД), або експертно. Ці параметри групують за змістом за допомогою операцій зв'язок, так, щоб вони характеризували властивості вищого рівня. Далі отримані на попередніх кроках властивості теж групують аналогічно. Це повторюють доти, доки не отримають у результаті групування шукану властивість.

Другий алгоритм є *алгоритмом аналізу*, тобто модель будується виділенням із складніших властивостей простіших доти, доки всі властивості, отримані на останньому кроці, можна буде оцінити за даними, які зберігаються в базі даних, або експертно.

Проте найчастіше застосовують *третій алгоритм*, який поєднує перші два, тобто модель будується в обох напрямках з огляду на те, які є вхідні дані та які властивості виділені на наступному кроці. Розглянемо ці алгоритми докладно.

**Алгоритм № 1 побудови моделі (знизу вгору, синтез; рис. 3.5).**

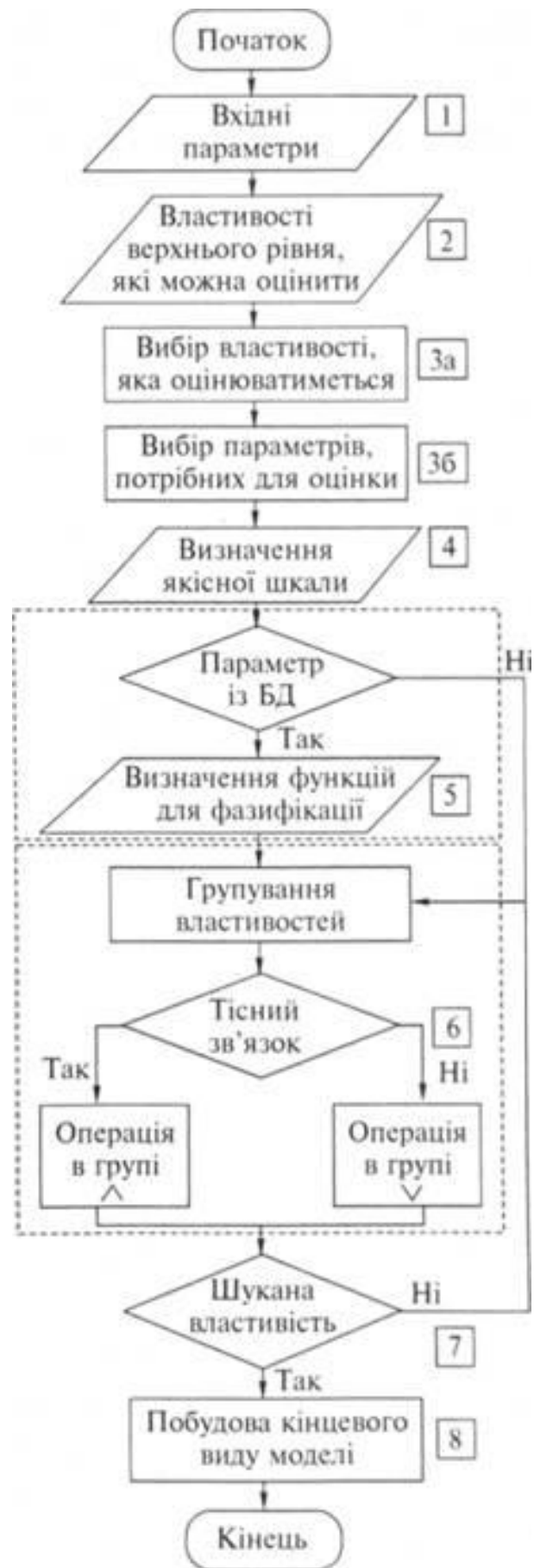


Рис. 3.5. Алгоритм № 1 побудови моделі для оцінювання безпеки об'єкта

1. Визначити вхідні параметри (властивості нижнього рівня), які можна отримати з даних, що зберігаються у базі даних, або оцінити експертно.
2. Визначити властивості об'єкта (властивості верхнього рівня), які можна оцінити за допомогою параметрів, визначених у п. 1.
  - 3а. Вибрати з визначених у п. 2 властивостей ту, яка буде оцінюватись.
  - 3б. З параметрів, визначених у п. 1, ті, що потрібні для її оцінювання.
4. Визначити якісну шкалу.
5. Для параметрів, що будуються, на основі показників із бази даних встановити функції, за якими проводитимуть фазифікацію.
6. Згрупувати властивості поточного і нижчих рівнів за змістом за допомогою зв'язок кон'юнкції  $\wedge$  (тісний зв'язок – параметри в сукупності впливають на значення групи) та диз'юнкції  $\vee$  (менш тісний зв'язок – кожен параметр впливає на значення групи) так, щоб вони характеризували властивості вищого, наступного рівня.
7. Повторювати п. 6 доти, доки в результаті групування не отримається властивість, обрана в п. 3.
8. Об'єднати властивості об'єкта так, щоб отримати кінцеву остаточну модель для оцінювання властивості об'єкта.

**Алгоритм № 2 побудови моделі** (згори вниз, аналіз; рис. 3.6).

1. Визначити властивість об'єкта, яку будуть оцінювати властивість вищого рівня.
2. Виділити властивості наступного, нижчого рівня для властивостей попереднього рівня.
3. Для кожної властивості попереднього рівня встановити зв'язок між властивостями поточного рівня, виділеними в ній у п. 2, за допомогою зв'язку кон'юнкції  $\wedge$  (тісний зв'язок – виділені властивості поточного рівня впливають на властивість, в якій вони виділені) та диз'юнкції  $\vee$  (менш тісний зв'язок – властивість поточного рівня впливає на властивість, в якій вона виділена).
4. Якщо не залишилось властивостей, які не можна оцінити за даними, що зберігаються в базі даних, то переходять на п. 5. Якщо тільки деякі

властивості поточного рівня можна оцінити за даними, що зберігаються в базі даних, то їх запам'ятовують, для інших – переходять на п. 2.



Рис. 3.6. Алгоритм № 2 побудови моделі для оцінювання безпеки об'єкта

5. Визначити якісну шкалу.

6. Визначити перелік властивостей, які можна оцінити за даними з бази даних, та таких, що можна оцінити експертно.

7. Для властивостей, що будуються на основі даних з бази даних, встановити функції, за якими проводитиметься фазифікація.

8. Об'єднати властивості об'єкта так, щоб отримати кінцеву остаточну модель властивості об'єкта.

### **Алгоритм № 3 побудови моделі (рис. 3.7).**

1. Визначити вхідні параметри (властивості нижнього рівня), які можна отримати з даних, що зберігаються у базі даних, або оцінити експертно.

2. Визначити ту властивість об'єкта (властивість верхнього рівня), яку можна оцінити за допомогою знайдених у п. 1 параметрів.

3. Визначити з параметрів, встановлених у п. 1.

4. Виділити з властивостей вищого рівня властивості наступного рівня.

5. Для кожної властивості попереднього рівня встановити зв'язок між властивостями поточного рівня за допомогою зв'язків кон'юнкції  $\wedge$  (тісний зв'язок – виділені властивості поточного рівня в сукупності впливають на властивість, в якій вони виділені) та диз'юнкції  $\vee$  (менш тісний зв'язок – властивість поточного рівня впливає на властивість, в якій вона виділена).

6. Якщо властивості, виділені в п. 4, збігаються з властивостями з п. 1 або 7, то переходять на п. 10, якщо ні – на п. 7.

7. Об'єднати властивості нижніх рівнів у властивості вищого рівня.

8. Якщо властивості, отримані в п. 7, збігаються за даними з властивостями з п. 4, то переходять на п. 10, якщо ні – на п. 9.

9. Для кожної властивості поточного рівня установити зв'язок між властивостями попереднього рівня, об'єднаними в п. 7, за допомогою зв'язків кон'юнкції  $\wedge$  (тісний зв'язок – об'єднані властивості попереднього рівня в сукупності впливають на властивість, в яку вони об'єднані) та диз'юнкції  $\vee$  (менш тісний зв'язок – властивість попереднього рівня впливає на властивість поточного рівня).

10. Визначити якісну шкалу.

11. Визначити властивості, які можна оцінити з бази даних, та ті, які можна оцінити експертно.

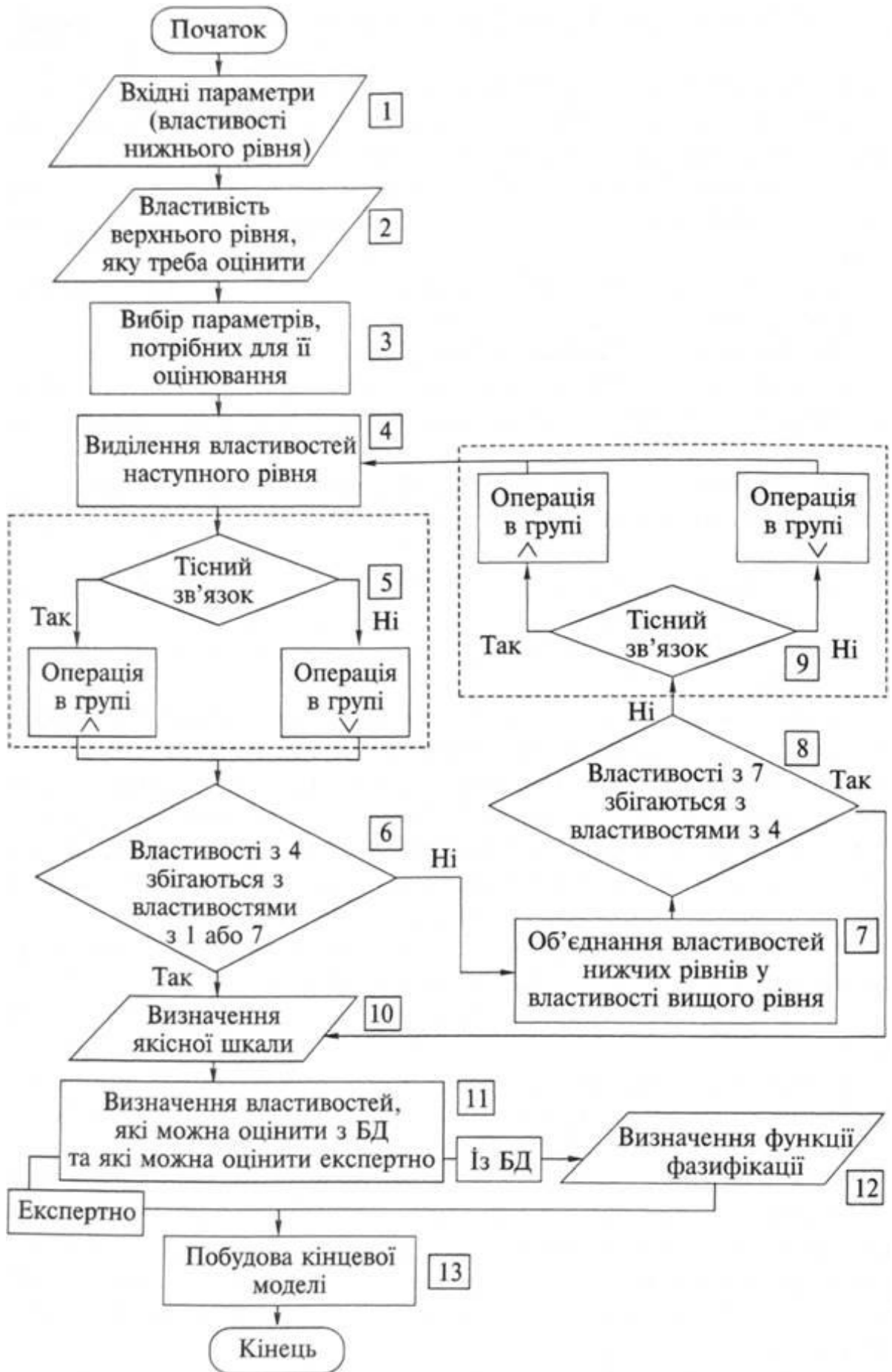


Рис. 3.7. Алгоритм № 3 побудови моделі для оцінювання безпеки об'єкта

12. Визначити функції фазифікації.

13. Побудувати кінцеву модель.

**Приклад:** Будуємо модель комплексного оцінювання, алгоритм № 3.

Нехай є об'єкт (Y), стан (властивість верхнього рівня) якого треба оцінити.

1. Визначимо вхідні параметри (властивості нижнього рівня). Нехай ними будуть  $d_1, d_2, f_1, f_2, f_3, k_1, k_2, k_3, e_1, e_2$ .

2. Хай властивість об'єкта, яку оцінюватимемо, Y.

3. Нехай для оцінювання властивості Y нам треба тільки  $d_1, d_2, f_1, f_2, f_3, k_1, k_2, k_3$

4. У властивості Y можна виділити властивості наступного рівня A, B.

5. Нехай між A і B – тісний зв'язок, тоді вибираємо операцію кон'юнкції  $\wedge$ .

6. Оскільки виділені властивості A і B не збігаються з вхідними параметрами, виділеними в п. 1, то переходимо на п. 7.

7. Об'єднаємо властивості з п. 1 у властивості наступного рівня. Нехай  $d_1, d_2$  об'єднуються в D за допомогою зв'язки  $\wedge, f_1, f_2, f_3$  – в F за допомогою зв'язки  $\vee, k_1, k_2, k_3$  – в K за допомогою зв'язки  $\vee$ .

8. Оскільки властивості D, F, K не збігаються з властивостями A, B, то переходимо на п. 9.

9. Об'єднаємо властивості D, F, K так, щоб вони відповідали властивостям A, B. Так як у нас уявний об'єкт, тобто немає прив'язки до предметної області, то пп. 10–12 можна пропустити.

13. Побудуємо кінцеву модель. У результаті моделювання отримаємо

$$\begin{aligned} Y = A \wedge B &= (D \vee F) \wedge (D \vee K) = \\ &= ((d_1 \wedge d_2) \vee (f_1 \vee f_2 \vee f_3)) \wedge ((d_1 \wedge d_2) \vee (k_1 \wedge k_2 \wedge k_3)), \end{aligned} \quad (3.22)$$

або на мові функцій належності

$$\begin{aligned} \mu_Y(x) &= (\mu_D(x) \vee \mu_F(x)) \wedge (\mu_D(x) \vee \mu_K(x)) = \\ &= ((\mu_{d_1}(x) \wedge \mu_{d_2}(x)) \vee (\mu_{f_1}(x) \wedge \mu_{f_2}(x) \wedge \mu_{f_3}(x))) \wedge \\ &\wedge ((\mu_{d_1}(x) \wedge \mu_{d_2}(x)) \vee (\mu_{k_1}(x) \wedge \mu_{k_2}(x) \wedge \mu_{k_3}(x))), \quad \forall x \in E. \end{aligned} \quad (3.23)$$

Змодельовану властивість оцінюють за алгоритмом, що на рис. 3.8.



Рис. 3.8. Алгоритм обчислення рівня безпеки властивості об'єкта  
Алгоритм обчислення оцінювання властивості об'єкта:

1. Вибрати модель, за якою проводитиметься оцінювання обраної властивості моделі.
2. Якщо вхідні параметри (властивості нижнього рівня) оцінюються з даних, які зберігаються в БД, переходять на п. 3, якщо експертно – на п. 4.
3. Вибирати необхідні дані з бази даних та провести фазифікацію цих даних.
4. Оцінити і ввести значення функцій належності вручну.
5. Передати вхідні нечіткі дані на вхід моделі.
6. Виконати операції диз'юнкції і кон'юнкції на рівні.
7. Визначити властивості, які найбільшою мірою впливають на значення функцій належності всього рівня.
8. Записати обчислені значення в БД.
9. Якщо досягнуто верхнього рівня, далі на п. 10, якщо ні – на п. 6.
10. Вивести оцінки верхнього рівня найвпливовіших на неї параметрів.

Отже, наявність математичних засобів відображення нечіткості вихідної інформації дає змогу побудувати модель, адекватну реальності.

Таким чином, разом з імовірнісним підходом до аналізу проблем безпеки й оцінювання ризику дуже корисним є використання методів системного аналізу, методів теорії нечітких множин та нечіткої логіки, експертних оцінок, що дають можливість глибоко зрозуміти проблему загалом і знайти її розв'язання.

Проведений у цьому розділі аналіз математичних моделей, методів і методик оцінювання ризиків техногенних аварій та надзвичайних ситуацій показав, що цей процес характеризується створенням низки методик, орієнтованих на окремі джерела небезпеки та об'єкти ураження.

Практичне їх використання уможливить істотне підвищення оперативності та якості аналізу безпеки об'єктів підвищеної небезпеки, сприятиме вирішенню завдань прогнозування наслідків НС, проведенню декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки.

### Висновки до розділу 3

1. Об'єктами моделювання в разі аналізу техногенної безпеки (ризик) є множина випадкових подій виробничих процесів ПНО та їх несприятливого збігу, що призводить до смерті людей чи травмувань або до забруднення навколишнього середовища.

2. Інтенсивність технічного ризику  $\lambda(t)$  є важливою характеристикою у теорії безпеки, оскільки вона визначає ймовірність того, що після безвідмовної роботи об'єкта до моменту часу  $t$  аварія відбудеться в наступному інтервалі часу  $\Delta t$ .

3. Для побудови моделі складного об'єкта пропонується визначати диз'юнкцію і кон'юнкцію як алгебраїчну сума і добуток, виходячи як з особливостей і властивостей самого об'єкта, так і використовуваних логічних операцій.

4. Для підвищення ефективності впровадження методів аналізу ризику у практику, в тім числі нормування кількісних критеріїв прийнятності, в Україні необхідно:

а) усунути розбіжність у термінології аналізу ризику техногенних подій, що трапляється в різних нормативних документах;

б) активізувати розробку кількісних методик оцінювання ризику, включаючи всі стадії виникнення та розвитку аварії (викид, поширення, вплив) із використанням кращих вітчизняних методик і закордонного досвіду, в т. ч. для типових небезпечних виробничих об'єктів (АЕС, ТЕС, ГЕС, магістральні трубопроводи, нафтобази, газонаповнювальні станції, об'єкти нафтогазовидобутку, сховища токсичних речовин тощо);

в) удосконалити та розробити методики оцінювання впливу потенційно небезпечних об'єктів на навколишнє середовище з адаптацією до умов України відомих у світовій практиці методик оцінювання ризику;

г) розробити механізми участі в процедурі аналізу ризику техногенних надзвичайних ситуацій найкваліфікованіших фахівців.

## ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

В першому розділі розглянуто теоретичні аспекти управління зменшенням наслідків ризиків у діяльності підприємства та проаналізовані основні джерела їх виникнення. Проаналізовано методологічні аспекти формування стратегії запобігання негативних наслідків ризиків для підприємства і показано, що для ефективного управління ризиками, потрібно не лише прогнозувати їх появу, включаючи місце, час, а мати підготовлений план заходів підприємства у випадку настання ризикової ситуації.

Другий розділ присвячено використанню теоретико-методологічних основ для аналізу і оцінювання ризику. Описано концептуально-методичний апарат аналізу та оцінювання ризику, а також наголошено, що забезпечення прийняттого рівня безпеки життєдіяльності особи, суспільства і навколишнього середовища в нашій державі, як і в більшості розвинених країн світу, ґрунтується на концепціях сталого розвитку, прийняттого та виправданого ризику. Концепція прийняттого ризику стала домінуючою в регулюванні відносин у сфері техногенної і природної безпеки.

В третьому розділі представлено удосконалення методів аналізу та оцінювання техногенного ризику. Проаналізовано загальну структуру техногенного ризику та досліджено показники надійності та безпеки. Наведено удосконалену методику оцінювання безпеки об'єкта на основі методів теорії нечітких множин та нечіткої логіки та побудовано моделі комплексного оцінювання безпеки об'єкта.

Важливим напрямом подальшої роботи вважаємо розрахунок ризиків найбільш потенційно небезпечних об'єктів Запорізької області згідно розробленої методики розрахунку загального ризику промислових об'єктів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Яцух О.В., Зоря М.В. Сучасні підходи до розрахунку професійного ризику виробництва. Problems of Emergency Situations: Матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. Харків : НУЦЗУ, 2023. – С. 440-441.
2. Yatsukh O., Zoria M. (2023). Analysis of Risk of Self-Ignition Grain Products During Storage. In Key Engineering Materials (Vol. 954, pp. 201-209). Trans Tech Publications, Ltd. <https://doi.org/10.4028/p-ofwv1d>.
3. Зоря, М.В., Райко, В.Ф., & Янчик, О.Г. (2024). Вплив виробничих ризиків на безпечність виробничих процесів: аналіз та прогнозування. Науково-виробничий журнал “Автошляховик України”, 1 (278), 74-82.
4. Стахник Д.А., Яцух О.В. Щодо розрахунку професійного ризику виробництва // Безпека життєдіяльності в ХХІ столітті : тез. допов. ХХ Всеукр. студ. наук.-практ. конф. (17-18 квітня 2024) / Заг. ред. А.С. Беліков. – Дніпро: ПДАБА, 2024. 91-93 с.
5. Рогач Ю.П., Зоря М.В. Дослідження закономірностей виникнення виробничих небезпек та травмонебезпечних ситуацій в аграрному секторі економіки України / Ю.П. Рогач, М.В. Зоря // Забезпечення цивільної безпеки в сучасних умовах: мат. Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. (26-30 квітня 2021 р., м. Мелітополь, Україна) / за заг. ред. О.В. Яцух. – Мелітополь: ТДАТУ, 2021. – С. 79-83.
6. ЯЦУХ, О. (2024). Поддержка высшего образования в Украине через социальную сеть Viber в период военного положения. ЕВРОПЕЙСКИЕ ГУМАНИТАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ: Государство и общество, 1 (1), 98-111. <https://doi.org/10.38014/ehs-ss.2024.1.07>.
7. ЯЦУХ, О. (2024). Використання соціальної мережі Viber у вищій освіті в період дії воєнного стану в Україні. ВИЩА ОСВІТА УКРАЇНИ У КОНТЕКСТІ ІНТЕГРАЦІЇ ДО ЄВРОПЕЙСЬКОГО ОСВІТНЬОГО ПРОСТОРУ, 92(I (2), 196-207. <https://doi.org/10.38014/osvita.2023.92.180>.

8. Chastnyk, O., Zoria, M., Poletay, O., Shumskyi, O., & Klochkova, Y. (2024). Exploring the influence of interactive education on academic progress: Evaluating effectiveness and implementation approaches. *Multidisciplinary Reviews*, 7, 2024spe029. <https://doi.org/10.31893/multirev.2024spe029>.

9. Нагайчук, О.В., Зоря, М.В., & Кучинський, С.А. (2024). Інноваційні підходи до створення безпечного освітнього середовища для здобувачів вищої освіти в Україні під час війни. Педагогічна Академія: наукові записки, (12). <https://doi.org/10.5281/zenodo.14228532>.

10. Яцух О.В., Хараім М.Г. Щодо питання застосування вищої математики у цивільній безпеці. Безпека життєдіяльності в ХХІ столітті : тези доповідей ХVІ Міжвузівської студ. наук.-практ. конф. (16-17 квітня 2020) / відп. ред. А.С. Беліков.– Дніпро: ПДАБА, 2020. – С. 22-24.

11. Яцух О.В. Щодо оцінки ризиків в цивільній безпеці / Сучасні проблеми професійної та цивільної безпеки: Зб. тез доповідей І Міжнар. наук.-практ. інтернет-конференції (28 квітня 2020 р., м. Дніпро, Україна). – Дніпро: Редакційно-видавничий комплекс ДВНЗ УДХТУ, 2020. – С. 112-116.

12. Кодекс цивільного захисту України (редакція від 27.11.2023 р.) / ВВР, 2013, №34-35, ст. 458. [Електронний ресурс]: – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17#Text> – Назва з екрану.

13. Бегун В.В. Безпека життєдіяльності (забезпечення соціальної, техногенної та природної безпеки) / В.В. Бегун І.М Науменко: [навч. посіб.] / Бегун В. В. Науменко І. М. – К., 2004. – 328 с.

14. Методика визначення ризиків та їх прийнятних рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки : наказ Міністерства праці та соціальної політики України від 04.12.2002 р № 637. *Офіційний вісник України*, 2003. № 52. Основа.

15. Про затвердження критеріїв, за якими оцінюється ступінь ризику від провадження господарської діяльності та визначається періодичність здійснення планових заходів державного нагляду (контролю) у сфері техногенної та пожежної безпеки Державною службою з надзвичайних

ситуацій : Постанова Кабінету Міністрів України від 5 вересня 2018 р. № 715. *Офіційний вісник України*. 2018. № 72. С. 53.

16. Яцух О.В., Зоря М.В., Мохнатко І.М. Ідентифікація потенційно-небезпечних об'єктів України на засадах ризик-орієнтованого підходу / О.В. Яцух, М.В. Зоря, І.М. Мохнатко // Всеукраїнський науково-практичний журнал “Директор школи, ліцею, гімназії”. – Спеціальний тематичний випуск «Вища освіта України у контексті інтеграції до європейського освітнього простору». – № 2. – Кн. 3. – Том II (89). – К.: – Гнозис, 2020-2021, – С. 79-88. <https://doi.org/10.38014/osvita.2022.89.07>.

17. Rohach Y., Yatsukh O., Zoria M. Determining the Risks of the Production Environment of an Agricultural Enterprise. *Modern Development Paths of Agricultural Production: Trends and Innovations* / Ed. V. Nadykto. Cham, Switzerland : Springer, 2019. P. 777-785. ISBN 978-3-030-14917-8.

18. Яцух О.В., Бодня В.В. Аналіз існуючих методів експертних оцінок визначення професійного ризику. Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності: Зб. наук. праць XV Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених, курсантів та студентів. – Львів: ЛДУ БЖД, 2020. – С. 256-257.

19. Яцух О.В., Кіосов С.О. Особливості методу визначення усередненої оцінки експертів при визначенні професійного ризику. Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності: Зб. наук. праць XV Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених, курсантів та студентів. – Львів: ЛДУ БЖД, 2020. – С. 273-274.

20. Яцух О.В., Хараїм М.Г. Аналіз найбільш розповсюджених методів експертних оцінок визначення професійного ризику в охороні праці. Матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. курсантів і студентів «Наука про цивільний захист як шлях становлення молодих вчених», 13 травня 2020 р. – Черкаси: ЧПБ імені Героїв Чорнобиля, 2020. – С. 257-258.

21. Yatsukh O. Modern approaches to labor protection management in the enterprise / O.Yatsukh, M.Zoria, I. Mokhnatko // *International Electronic Scientific and Practical Journal «WayScience»*. – №2 (6). – Ukraine (Dnipro), 2020. – P. 172-181.

22. ДСТУ EN ІЕС 31010:2022 Керування ризиками – методи оцінки ризиків (EN ІЕС 31010:2019, ІДТ; ІЕС 31010:2019, ІДТ). Чинний від 2023-12-21.

23. Яцух О.В. Актуальність запровадження ризик-орієнтованого підходу для потенційно-небезпечних об'єктів Запорізької області / О.В. Яцух // Забезпечення цивільної безпеки в сучасних умовах: матеріали міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. (26-30 квітня 2021 р., м. Мелітополь, Україна) / за заг. ред. О.В. Яцух. – Мелітополь: ТДАТУ, 2021. – С. 44-49.

24. Мандзій В.В., Яцух О.В. Ризик-орієнтований підхід – основа ідентифікації потенційно-небезпечних об'єктів / ІХ Всеукр наук.-техн. конф. магістр. і студ. ТДАТУ. Факультет АТЕ: мат. ІХ Всеукр. наук.-техн. конф., 10-25 листопада 2021 р. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. – С. 206-209.

25. Яцух О.В. Професійна безпека – запорука здоров'я працівника / Актуальні питання безпеки праці у контексті сталого розвитку та європейської інтеграції України = Topical Issues of Occupational Safety in the Context of Sustainable Development and European Integration of Ukraine : матеріали V Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф., Харків, 12–13 листоп. 2024 р. / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова, Департамент цивіл. захисту Харків. обл. військ. адмін., Hungarian University of Agriculture and Life Sciences (Hungary), University of Žilina (Slovakia), Rhino Management Consulting GmbH (Germany). – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. – С. 169-171.

26. Дикань С.А., Зима О.Є. Безпека в галузі та надзвичайних ситуаціях. Університетський курс [Текст]: підручник для студ. вищ. навч. закл. / С.А. Дикань, О.Є. Зима. – Полтава: ТОВ «АСМІ», 2015. – 273 с.

27. Директива Європейського Парламенту і Ради 2012/18/ЄС від 4 липня 2012 року про контроль загроз виникнення значних аварій, пов'язаних із використанням небезпечних речовин, та про внесення змін і подальше скасування Директиви Ради 96/82/ЄС. Офіційний вісник Європейського Союзу від 24.07.2012. – 2012 р., / L 197 /, стор. 1.

28. Про об'єкти підвищеної небезпеки : Закон України (редакція від 06.08.2022 р.) / ВВР, 2001, №15. [Електронний ресурс]: – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2245-14#Text> – Назва з екрану.

29. Старостюк В.Є., Яцух О.В. Необхідність оцінки параметрів мікроклімату в охороні праці // XI Всеукр. наук.-техн. конф. здобувачів вищої освіти ТДАТУ. Факультет агротехнологій та екології: матеріали XI Всеукр. наук.-техн. конф., 19-23 лютого 2024 р. Запоріжжя: ТДАТУ, 2024. 104-106 с.

30. Стахник Д.А., Яцух О.В. Гігієнічна оцінка умов праці за показниками мікроклімату // XI Всеукр. наук.-техн. конф. здобувачів вищої освіти ТДАТУ. Факультет агротехнологій та екології: матеріали XI Всеукр. наук.-техн. конф., 19-23 лютого 2024 р. Запоріжжя: ТДАТУ, 2024. 107-109 с.

31. Старостюк В.Є., Яцух О.В. Необхідність оцінювання умов мікроклімату аудиторій в процесі навчання // Фізичне виховання, безпека життєдіяльності і сучасні технології виробництва: збірник тез I Всеукр. наук.-практ. конф. (електронне видання), 21 березня 2024 року / за заг. ред. А.А. Івашури. Харків : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2024. 312-318 с.

32. Бегун В.В. Моніторинг безпеки на основі аналізу ймовірнісних структурно-логічних моделей виробництва / В.В. Бегун // Моделювання та інформаційні технології. – К.: ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова, 2009. – Вип. 52. – С. 17–26.

33. Рогач Ю.П. Проблематика реформування СУОП в Україні / Ю.П. Рогач, О.В. Яцух, І.М. Мохнатко, Д. Мясніченко // Безпека життєдіяльності в XXI столітті : тез. допов. VIII Міжнар. наук.-практ. конф. (19-20 листопада 2020 р.) / відп. ред. А.С. Беліков. – Дніпро: ПДАБА, 2020. – С. 70-72.

34. Головін Д.С., Яцух О.В. Створення системи управління охороною праці в сільськогосподарському підприємстві / Д.С. Головін, О.В. Яцух / Актуальні питання охорони праці у контексті сталого розвитку та європейської інтеграції України : тез. допов. III Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. (09-11 листопада 2022 року, м. Харків, Україна) / за заг. ред. В.В. Малишевої. – Харків: ХНУМГ, 2022. – С. 85-87.

35. Концепція стійкого розвитку суспільства // Словник-довідник з екології : навч.-метод. посіб. / уклад. О.Г. Лановенко, О.О. Остапішина. — Херсон : ПП Вишемирський В.С., 2013. – С. 111.

36. Гуменюк В.Я., Міщук Г.Ю., Олійник О.О. Управління ризиками: Навч. посіб. – Рівне.: НУВГП, 2009. – 156 с.

37. Томпсон, К. и Хопкин, П. (2021). Основы управления рисками (6-е изд.). Коган Пейдж. Получено с <https://www.perlego.com/book/3104473/fundamentals-of-risk-management-understanding-evaluating-and-implementing-effective-enterprise-risk-management-pdf> (Оригинальная работа опубликована в 2021 г.).

38. Методика прогнозування наслідків вилливу (викиду) небезпечних хімічних речовин під час аварій на хімічно небезпечних об'єктах і транспорті: Наказ МВС України 29.11.2019 року № 1000 (редакція від 27.11.2024 р.) [Електронний ресурс]: – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0440-20#Text> – Назва з екрану.

39. Методика визначення ризиків та їх прийнятних рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки: Наказ Міністерства праці та соцполітики України від 04.12.2002 р. №637. [Електронний ресурс]: – Режим доступу: <https://ips.ligazakon.net/document/FIN5355>. – Назва з екрану.

40. Методика оцінки збитків від наслідків надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру: Постанова КМУ від 15.02.2002 р. № 175 [Електронний ресурс]: – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/175-2002-%D0%BF#Text>. – Назва з екрану.

41. Методика оцінювання ризиків виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру та пожеж: Наказ МВС України від 13.10.2023 р. № 836. [Електронний ресурс]: – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1905-23#Text>. – Назва з екрану.

42. Лисиченко Г.В., Забулонов Ю.Л., Хміль Г.А. Природний, техногенний та екологічний ризики: аналіз, оцінка, управління. – Наукова думка: Київ, 2008. – 544 с.