

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЧОРНОМОРСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ПЕТРА МОГИЛИ



**ЛИФАР ВОЛОДИМИР ОЛЕКСІЙОВИЧ**

**УДК 004.942:504.06:614.8: 519.876.2**

**МОДЕЛІ, МЕТОДИ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОЦІНКИ  
ТЕХНОГЕННОГО РИЗИКУ ОБ'ЄКТІВ ПІДВИЩЕНОЇ НЕБЕЗПЕКИ**

05.13.06 – інформаційні технології

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук

Миколаїв - 2017

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі програмування та математики Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля Міністерства освіти і науки України.

**Науковий консультант:**

доктор технічних наук, професор  
**РЯЗАНЦЕВ Олександр Іванович**,  
Східноукраїнський національний  
університет ім. В. Даля,  
проректор з науково-педагогічної  
роботи і міжнародної діяльності.

**Офіційні опоненти:**

доктор технічних наук, професор  
**ФІЛАТОВ Валентин Олександрович**,  
Харківський національний університет  
радіоелектроніки, завідувач кафедри  
штучного інтелекту;

доктор технічних наук, професор  
**КАРГІН Анатолій Олексійович**,  
Український державний університет  
залізничного транспорту,  
завідувач кафедри інформаційних  
технологій;

доктор технічних наук, професор  
**КОВАЛЕНКО Ігор Іванович**,  
Національний університет кораблебудування  
імені адмірала Макарова,  
професор кафедри програмного  
забезпечення автоматизованих систем.

Захист дисертації відбудеться 26 травня 2017 року о 10 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 38.053.05 у Чорноморському національному університеті імені Петра Могили за адресою: 54000, м. Миколаїв, вул. 68 Десантників, 10.

З дисертацією можна ознайомитися на сайті <https://chmnu.edu.ua/> та у бібліотеці Чорноморського національного університету імені Петра Могили за адресою: 54000, м. Миколаїв, вул. 68 Десантників, 10.  
Автореферат розісланий 26 квітня 2017 року.

В.о. вченого секретаря  
спеціалізованої вченої ради Д 38.053.05  
д.т.н., професор



В. Я. Кутковецький

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Зростання техногенного навантаження на суспільство, викликаний істотним ускладненням технологічних процесів, збільшенням їх енергоємності та використання небезпечних речовин і процесів, призводить до необхідності вдосконалення методів попередження небезпечних наслідків техногенних аварій. Якісна профілактика аварій досягається за рахунок управління техногенним ризиком. Найбільш дієвий спосіб підтримки сталого розвитку в умовах підвищення щільності техногенної загрози - управління ризиком із застосуванням організаційних та економічних методів (страхування відповідальності) таким чином, щоб у разі настання страхового випадку завжди була можливість повного покриття як прямих збитків, так і втрат на відновлення нормальної життєдіяльності суспільства. В Україні діють чимало національних законодавчих документів, що визначають джерела підвищеної небезпеки на підставі граничних показників кількостей небезпечних речовин або, іноді, процесів, енергетичний еквівалент яких перевищує кількісний аналог небезпечних речовин. Це закони, нормативні акти, вимоги, методики та інші документи, що забезпечують нормативний підхід до керування рівнем безпеки. Розроблені також деякі інформаційні технології та програмні засоби, що сприяють оцінці ризику та аналізу рівня безпеки. Такий підхід має право на існування, але не відповідає сучасним умовам розвитку суспільства. Надзвичайно важливо прийняти адекватні рішення в галузі управління техногенним ризиком, які могли б привести його в межі прийнятної усіма учасниками, що підвергаються ризику.

Роботи зі створення ефективних механізмів управління в цій сфері ведуться в багатьох країнах останні 30 років. Розробці та реалізації технологій техногенної безпеки присвячено значну кількість робіт видатних вчених, таких як: Баратов А.Н., Бесчастнов М.В., Бегун В.В., Белов П.Г., Болод'ян І.А., Брушлинський Н.Н., Владимиров В. А., Гельфанд Б. Е., Горский В.Г., Гражданкін А.И., Сгоров А.Ф., Едигаров А.С., Слохин А.Н., Измалков В.І., Кафаров В.В., Легасов В.А., Лісанов М.В., Лисиченко Г. В., Макеев В.И., Махутов Н.А., Мешалкин В.П., Можаяв А.С., Палуха Б.В., Потехін Г.С., Рябінін І.А., Сильников М. В., Тарасова Н.П., Шебеко Ю.Н., Ale B. J., Griffiths R. F., Brearley S. A., Henley I.J., Krishna S., Kumamoto H., Lees F.P., Poblete B.R., Marshall V. C., Simpson G. B., Ir. C.J.H. van den Bosch, Weterings R.A., Puttock G.S. та інших. Велика кількість робіт в області промислової безпеки, незважаючи на ефективність окремих методичних і науково-технічних розробок, тим не менш, не забезпечується досить ефективний рівень прийняття рішень на основі інтеграції моделей, методів та інформаційних технологій для попередження значних аварійних процесів на техногенних об'єктах підвищеної небезпеки, до яких відносяться в основному об'єкти хімічної промисловості, нафтохімії, енергетики, транспортування

небезпечних вантажів та інші. Такий рівень визначається «Законом України про об'єкти підвищеної безпеки», постановами кабінету міністрів про порядок декларування безпеки, та іншими нормативними документами. Таким чином, можна стверджувати, що наукова проблема комплексного аналізу та виробітки рішень при оцінці техногенного ризику за рахунок розробки нових та удосконалення й розвитку моделей, методів та інформаційних технологій управління техногенним ризиком є актуальною.

Необхідно відзначити, що ефективне прийняття рішень можливо тільки з урахуванням рішення проблем усіх учасників техногенного ризику в тій мірі, в якій відповідно до національного та міжнародного законодавства можливе досягнення компромісу на основі гранично допустимих критеріїв, які забезпечують сталий розвиток суспільства. У зв'язку з цим необхідно об'єднати на єдиній інформаційній платформі існуючі методики, критерії та граничні вимоги, законодавчі акти, соціальні інститути необхідної компетенції в єдину структуру, на базі якої можливе створення замкнутої інформаційної технології гарантує прийняття рішення зрозумілим і оптимальним способом.

Європейський союз визначає такий підхід в директиві Seveso III з контролю над діяльністю об'єктів підвищеної безпеки та попередження великих аварій, що вимагає гармонізацію національного законодавства всіх країн ЄС і розробку методів і оргструктур для виконання цих законів. Seveso III вимагає від країн-членів ЄС публікувати інформацію в мережі Інтернет про розташування заводів, що підлягають під юрисдикцію цієї Директиви, і про те, як громадськість повинна реагувати в разі аварії на хімічному підприємстві, а також прозорий процес розв'язання суперечностей між виробниками, державними наглядовими органами і громадськістю.

Одночасно аналіз інформаційних технологій і методів прийняття рішень щодо рівня техногенного ризику показав, що не тільки не в повній мірі вирішено питання розробки методик і моделей оцінки техногенного ризику, а також комплексного підходу до прийняття рішень на їх основі, а й практично немає єдиного підходу і технічних, організаційних та інформаційних засобів його забезпечення для досягнення прийнятного ризику при експлуатації небезпечних технологій.

Таким чином, виникає протиріччя, обумовлене інтуїтивним способом вирішення розбіжностей між учасниками ризику, яке повинно бути вирішено науково-технічними методами з застосуванням законодавчих і економічних заходів управління на основі прозорості і доказової бази оцінки ризику.

Зазначене вище визначає актуальність дисертаційної роботи, в якій представлено рішення перерахованих проблем ризику у вигляді обґрунтованих моделей і методів, а також розроблених на їх основі інформаційних технологій, що дозволяють вирішити комплекс задач та здійснити процес підтримки прийняття рішень в галузі управління техногенним ризиком для об'єктів підвищеної

небезпеки, суть яких полягає в досягненні прийняттого ризику на основі оцінки рівня небезпеки, надійності і ефективності засобів управління і захисту об'єктів підвищеної небезпеки, а також вимог законодавства та громадськості і економічних заходів регулювання.

У дисертаційній роботі представлено вирішення цієї проблеми у вигляді теоретично обґрунтованих моделей і методів побудови комплексної системи підтримки прийняття рішень за рівнем техногенного ризику об'єктів підвищеної небезпеки, сутність якого полягає в пошуку найбільш раціональних рішень щодо доведення техногенного ризику до прийняттого рівня.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота по темі дисертації виконувалася у Східноукраїнському національному університеті згідно з планами наукових досліджень, затверджених РНБО України, Національною програмою інформатизації від 4 лютого 1998 р., стратегією державної екологічної політики України на період до 2020 р. Дослідження проводилися в межах наукового напрямку "Методологія та інформаційна технологія управління техногенним ризиком об'єктів підвищеної небезпеки" за тематикою науково дослідних робіт № 0115U004878, 2014-2018 рр. (автор розробив сукупність методів автоматизації оцінки техногенного ризику об'єктів підвищеної безпеки та підтримки прийняття рішень що до доведення рівня ризику до прийняттого на об'єктовому та державному рівнях); "Аналіз роботи існуючої системи спостереження за станом атмосферного повітря та дослідження джерел впливу на стан атмосферного повітря у м. Северодонецьку" № 0108U007618, 2008-2010 (автор розробив метод визначення просторового розподілу вірогідності забруднень від джерел викидів з урахуванням рози вітрів та моделювання розповсюдження небезпечних домішків в атмосфері, що дало змогу вирішення завдання умовної оптимізації розміщення місць контролю рівня забруднення); "Проектування муніципальної комп'ютерної системи з використанням новітніх інформаційних технологій" № 0103U007993, 2003-2004 рр. (автор розробив методи підтримки прийняття рішень при управлінні ризиком забруднення територій, що дало змогу визначити стратегію розвитку небезпечних виробництв); "Розробка програмно-технічного комплексу хімічного виробництва" № 0104U000391, 2003-2006 рр. (автор розробив метод оцінки впливу на ризик різних елементів складної технологічної системи, що дало змогу підвищити якість оцінки техногенного ризику); "Аналіз стану та розробка інформаційної структури технозони" № 0104U000390, 2003-2006 рр. (автор розробив методи впливу техногенних аварій на загальний рівень екологічної безпеки регіону, що дає можливість урахувати вплив аварій на виробництві на основні показники екологічного ризику); госпдоговірних тем: № 42 від 01.07.2011 р. "Розробка Програми охорони навколишнього природного середовища м. Северодонецька та селищ міської ради в 2012-2016 рр."; тематичних планів науково-дослідних робіт Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля протягом 2010 - 2016 рр.

При виконанні НДР автором запропоновані методи підтримки прийняття рішень щодо підвищення рівня безпеки промислових та інших об'єктів підвищеної

безпеки; розроблені методи оцінки ризику на базі причинно-наслідкових зав'язків в інформаційних моделях, що відображають стан технологічних об'єктів, розроблені методики формалізації, аналізу рівня безпеки та надійності складних технологічних систем та підтримки процесів прийняття рішень з елементами оптимізації; спроектовано та розроблено структури вводу та зберігання інформації; побудовані моделі прийняття рішень при реалізації комплексного підходу коригування техногенного ризику в умовах багатокритеріальної невизначеності; розроблені методи підтримки прийняття рішень з використанням програмних засобів та організаційних заходів.

**Мета і задачі дослідження.** Метою роботи є зниження техногенного ризику об'єктів підвищеної небезпеки до прийняттого рівня в масштабах промислового регіону шляхом розробки та впровадження інтеграційних моделей, методів і інформаційних технологій та на їх основі системи підтримки прийняття рішень, що дозволяють накопичувати, переробляти, аналізувати показники безпеки та підтримувати процеси прогнозування й управління ризиками техногенної безпеки.

Для вирішення цієї *важливої науково-практичної проблеми*, в дисертації сформульовані і вирішені наступні основні **завдання**:

1) Комплексний аналіз сучасного стану оцінки ризику, інформаційної бази, що забезпечує промисловість, суспільство та державні органи інформаційними засобами в області техногенного ризику.

2) Розробка методів оцінки техногенного ризику, який формується промисловими об'єктами підвищеної небезпеки, інформаційних, функціональних, структурних та математичних моделей, що дозволяють отримувати рішення на єдиному інформаційному просторі збору, обробки та аналізу даних, що забезпечує підтримку рішень в межах прийняттого ризику за рахунок використання інформаційних технологій.

3) Розробка методик і засобів комп'ютерного моделювання для системи підтримки прийняття рішень щодо зниження рівня техногенного ризику.

4) Розвиток методичної та нормативної бази та комп'ютерних засобів підтримки прийняття рішень для підвищення безпеки небезпечних об'єктів за рахунок упередження аварійних ситуацій та локалізації їх наслідків.

5) Формалізація методів моделювання процесів складних хіміко-технологічних систем, як типового представника ОПН, для задач оптимізації підтримки прийняття рішень в галузі техногенної безпеки.

6) Удосконалення методів підтримки прийняття рішень оптимальних по Парето, що спрямовані на досягнення прийняттого рівня ризику з урахуванням багатоголтових задач безпечного ведення технологічних процесів.

7) Практична реалізація підходів, методів та моделей шляхом створення системи підтримки прийняття рішень та інформаційної технології її втілення в галузі забезпечення необхідного рівня безпеки промислових об'єктів, засобів

транспортування небезпечних речовин, об'єктах енергетики та інших об'єктах підвищеної безпеки.

*Об'єктом дослідження* є процеси прийняття рішень при забезпеченні техногенної безпеки на державному та регіональному рівнях.

*Предметом дослідження* є моделі, методи та інформаційні технології створення і функціонування систем підтримки прийняття рішень в галузі оцінки техногенного ризику.

**Методи дослідження.** Теоретичною основою роботи є методи системного аналізу, теорія прийняття рішень, теорія графів, математична логіка, методи оптимізації, теорія ймовірності, теорія нечітких множин. Для вирішення задач, поставлених при розробці концепції вдосконалення інформаційних технологій оцінки техногенного ризику використовувалися загальні принципи створення систем, методи проектування взаємопов'язаних систем і засоби системного аналізу; для вирішення завдання підтримки прийняття рішень при комплексному управлінні рівнем безпеки та надійності об'єктів підвищеної безпеки використані методи теорії графів, теорії нечітких множин, теорії ймовірностей; для моделювання багатовимірних систем використані методи технічного аналізу небезпеки та працездатності HAZOP (Hazard and Operability Study), математичного моделювання, математичної статистики, технологія агрегації; для програмної реалізації розроблених моделей, методів та алгоритмів функціонування прикладних систем підтримки прийняття рішень використано теорію реляційних баз даних, методи об'єктно-орієнтованого програмування.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає у наступному:

*вперше*

- запропоновано концепцію створення і застосування інформаційних технологій комплексного аналізу та отримання множин рішень при оцінці техногенного ризику за рахунок методів синтезу імітаційно-подієвих моделей процесів складної хіміко-технологічної системи об'єктів підвищеної безпеки, що, на відміну від існуючих, засновані на аналізі причинно-наслідкових зв'язків ймовірних подій та їх наслідків, просторово-часових характеристиках негативних наслідків та оцінці інтегральних показників ризику;
- сформовано теоретичні підходи до визначення рівня безпеки об'єктів підвищеної безпеки за рахунок автоматизації збору, групування та аналізу даних і представлення їх в базі знань з використанням геоінформаційних технологій, що дозволяє визначити значення прийнятного та поточного рівня ризику та зробити прозорим процес владнання розбіжностей між суспільством та промисловцями;
- розроблено багаторівневий підхід до моделювання та аналізу можливих аварійних подій та визначення їх наслідків, який відрізняється від відомих

тим, що дозволяє використовувати моделі як фізичних явищ, так і моделі знань причинно-наслідкових подій і методи аналізу відмов для пошуку множин альтернативних рішень, оптимізованих в сенсі Парето рішення задля багатокритеріальних цільових функцій на основі використання коефіцієнтів значущості і вподобань. Такий підхід дає можливість автоматизувати процес обробки інформації при пошуку рішення в стратегії коригування техногенного ризику та забезпечити доказовість висновків;

*одержали подальший розвиток:*

- модель прийняття рішень в умовах невизначеності, заснована на аналізі багатьох різноспрямованих цілей при наявності конкуруючих рішень за рахунок спільного використання методів навігації в просторі Парето та математичного моделювання при оцінці рівня безпеки техногенних об'єктів, що надає можливість використовувати її на всіх етапах узгодження протиріч;
  - метод планування зниження рівня техногенної безпеки та ризику з використанням принципу ALARP (As low as is reasonably practicable), що дозволяє обґрунтувати запропоновані процеси управління промисловою безпекою;
  - методика визначення основних небезпечних показників аварій за для проведення страхування об'єктів підвищеної безпеки та обов'язкового страхування відповідальності перед третіми особами, що використовується в інформаційній технології оцінки ризику;
  - методика визначення показників планування ремонтно-відновлювальних робіт в режимах «ремонт за станом» з урахуванням показників ризику;
- удосконалені:*
- модель опису небезпечних процесів та станів техногенних об'єктів, в якій, на відміну від існуючих, враховуються динаміка небезпечних процесів, стан та властивості об'єктів, що знаходяться в небезпеці, стохастичні властивості елементів систем та процесів, які аналізуються, що дозволяє визначити кількісні показники ризику для пошуку оптимальних рішень щодо прийнятного рівня ризику;
  - модель класу CFD (Computational fluid dynamics), що, на відміну від існуючих, дозволяє визначити характеристики газодинамічної системи з урахуванням джерел фазових і хімічних перетворень в багатокомпонентній домішці, моделювати в такі явища як розсіювання небезпечних домішок в просторі і часі, пожежі, вибухи, випаровування, конденсацію чисельними методами, що є складовими створеної інформаційної технології;
  - метод корегування техногенного ризику, в якому враховується зв'язок надійності й ефективності систем керування та захисту техногенних об'єктів, можливих негативних наслідків аварій, попереджувальних заходів



до них, економічних можливостей сталого розвитку з урахуванням відновлювальних можливостей та формування критеріїв прийнятного ризику;

- методи SIL (Safety Integrity Level) аналізу при розробці вимог до електронних, електричних та програмованих засобів, що на відміну від існуючих дозволяють об'єднати різноманітні моделі визначення ймовірності відмов;
- методи моніторингу та реагування на надзвичайні ситуації при транспортуванні небезпечних речовин, що на відміну від існуючих дозволяють врахувати поточні умови аварії.

**Практичне значення одержаних результатів.** У дисертації узагальнено результати теоретичних і практичних розробок автора за 2007-2015 рр. в галузі теорії і практики автоматизації управління техногенним ризиком та роботами, спрямованими на забезпечення прийнятного рівня безпеки, промислових та інших техногенних об'єктів підвищеної небезпеки, що проектуються, діють, реконструюються та підлягають ліквідації. Запропоновані методи, алгоритми та програмно-технічні засоби є універсальними, забезпечують комплексність вирішення задач, сприяють обґрунтованості прийняття рішень щодо техногенної безпеки. Основні теоретичні результати роботи втілено у наступних практичних додатках і положеннях:

1. Обґрунтовано і розроблено моделі і методи, структури даних, параметрів та критеріїв, що дозволяють реалізувати процес оцінки техногенного ризику на базі інформаційної системи підтримки прийняття рішень на об'єктовому та загальнодержавному рівнях (акти впровадження в п. 6).

2. Розроблено інформаційно-аналітичну систему оцінки рівня ризику, безпеки та надійності об'єктів підвищеної безпеки, яка дозволяє провести повне обстеження існуючих об'єктів, об'єктів, що проектуються, консервуються, знаходяться в стані ліквідації, як на стадії створення звіту та прийняття рішень, так і при експертизах аварій та катастроф, створювати декларації, звіти, обґрунтування безпеки та інші документи, які передбачені законодавством і містять інформацію щодо прийнятих рішень.

3. Розроблено комплекс програм для системи підтримки прийняття рішень при визначенні стратегій дій зі зниження техногенного ризику, який реалізує запропонований в роботі підхід до моделювання небезпечних наслідків аварій з урахуванням стохастичних параметрів складних технологічних систем з переробкою інформації для прийняття рішень що до досягнення прийнятного ризику та розробки заходів, що йому відповідають. Використання програмного комплексу дозволило виконати ряд робіт при розробці декларації безпеки, експертизах безпеки та інших.

4. Створено бази даних небезпечних властивостей речовин згідно вимог Seveso III, надійності технологічних елементів, що базується на обробці інформації напрацювання на відмову для діючої виробництва.

5. Розроблено програмно-технічні засоби комплексу швидкого реагування на аварії засобів транспортування небезпечних вантажів, що включає:

- автоматизовану систему супроводу та визначення виникнення аварії на транспортному засобі, що забезпечує раннє розпізнавання умов виникнення та розвитку аварії;

- програмне забезпечення швидкого аналізу та прогнозування наслідків аварії;

- засоби диспетчеризації сил реагування на аварії.

6. Виконано роботи з впровадження результатів дисертаційного дослідження в промисловості (хімічної, енергетиці, транспортуванні небезпечних речовин, та ін.). Впроваджені в експлуатацію в обсягах відповідних вимог до інформаційної системи підтримки прийняття рішень з управління техногенним ризиком на: Wiwasoft GmbH D-30165 Hannover HRB 201471 (акт впровадження від 2014 р.), ПрАТ «СНВО «Імпульс» (акт впровадження від 12.04.2016 р.), СНУ ім. В. Даля (акт впровадження від 19.10.2015р.) ПрАТ «Северодонецький ОРГХІМ» (акт впровадження від 15.08.2016 р.), ГУ ДСНС України в Луганській обл., ТОВ «Хімтехнологія» (акт впровадження від 30.09.2016 р.), які наведені в Додатку до дисертації.

7. Розроблені моделі, методи та інформаційні технології впроваджені в навчальний процес Технологічного інституту Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля (м. Северодонецьк) на кафедрі комп'ютерної інженерії при вивченні дисциплін " Комп'ютерне моделювання процесів і систем ", "Інженерія програмного забезпечення", "Комп'ютерне моделювання процесів і систем", "Комп'ютерні технології в науці та виробництві", «Основи системного аналізу об'єктів і процесів комп'ютеризації», «Інтелектуальний аналіз даних», «Математичні методи дослідження операцій», «Методи та засоби комп'ютерних інформаційних технологій», а також використовуються при виконанні студентами дипломних і магістерських атестаційних робіт.

**Особистий внесок здобувача.** Усі наукові положення і результати, подані у дисертаційній роботі, належать особисто автору і не містять результатів, ідей або розробок, що належать співавторам, разом з якими опубліковані наукові праці. Роботи [1,11,12,16,18,19,23,34,35] опубліковані без співавторів. Внесок здобувача в роботах, виконаних у співавторстві, полягає у формуванні наукових ідей, у виборі та обґрунтуванні необхідних даних, в аналізі та узагальненні результатів, плануванні і проведенні чисельних експериментів, пов'язаних з обробкою, оцінкою і аналізом техногенної інформації [1,4,10,12,13]; розробці концептуальних основ використання інформаційних технологій процесах підтримки прийняття рішень по забезпеченню необхідного рівня безпеки підприємств [11,22]; розробці та

верифікації моделей та методів визначення показників ризику [2,13,14,17,27,28,31,33], розробці методів аналізу ризику [5,25,26,29,30], розробки моделей і методів визначення надійності обладнання [15,20,21,24], методів реагування на аварійні процеси на виробництвах [6-9,32].

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати дисертаційної роботи обговорювались на міжнародних, всеукраїнських науково-технічних конференціях і тематичних семінарах, зокрема: 2 International Conference on Hydrogen Safety (San Sebastian (Spain). – 2007); Международной Научной Школы МА БР - 2007 (Россия, Санкт-Петербург, 4 - 8 сентября, 2007 г.); 3-rd International Conference on Hydrogen Safety. (Ajaccio (France). 2009); 11-й Всеукраїнської наук.-практ. конф. «Організація управління в надзвичайних ситуаціях». (Київ: ІДУЦЗУ УЦЗУ, 2009.); Матеріали V міжнародної конференції «Стратегія якості у промисловості і освіті», (Дніпропетровськ – Варна, 2009); VI Международная конференция «Стратегия качества в промышленности и образовании», (Технический университет-Варна, Болгария, июнь 2010.); 4-rd International Conference on Hydrogen Safety. (San Francisco (CA USA). 2011.); Всеукраїнська наук.-практ. конф. за міжнародною участю «Модернізація державного управління та європейська інтеграція України» (Київ: НАДУ при Президентові України, 2013).

**Публікації.** За темою дисертаційної роботи опубліковано 35 наукових праць в міжнародних і вітчизняних виданнях (з них 9 одноосібно), у тому числі 23 фахових публікацій, з яких 18 праць у наукових фахових виданнях України, 5 праць в наукових виданнях інших держав та у фахових виданнях України, що включені до наукометричних баз; 1 патент на корисну модель, 11 тез доповідей у збірниках матеріалів і праць конференцій.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаної літератури та додатків. Робота викладена на 309 сторінках машинописного тексту, містить 44 рисунка, 4 таблиці, 7 додатків на 57 сторінках. Бібліографічний список містить 220 найменувань на 26 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність дослідження, наведено загальну характеристику роботи, зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, визначено об'єкт, предмет дослідження, сформульовано мету роботи, завдання і методи досліджень. Викладено основні положення, що виносяться на захист, наукова новизна, практична цінність роботи, позначені апробація роботи та особистий внесок здобувача.

У першому розділі наведено теоретико-методологічні аспекти та концептуальні засади управління техногенною безпекою в контексті розробки і застосування інформаційних технологій при оцінюванні техногенного ризику.

Представлено і проаналізовано існуючі інформаційні технології оцінки рівнів безпеки об'єктів підвищеної небезпеки (ОПН – згідно класифікації Seveso III). Обрано методи моделювання при визначенні показників техногенного ризику. Сформульовано проблеми, що вирішуються в процесі досліджень і визначені завдання досліджень і розробки інформаційних технологій.

Суб'єктами процесів техногенного ризику є учасники-антагоністи наступного триумвірату: власники об'єктів підвищеної небезпеки → органи держнагляду (представники державної влади) → місцева громада. Безпосередньо носіями ризику є об'єкти підвищеної небезпеки (ОПН), а також причетний до нього весь триумвірат. Антагонізм учасників виражається через розбіжність їх основних цілей.

Завданням управління ризиками є контроль, запобігання або зменшення загибелі людей в результаті аварій на ОПО, зниження захворюваності, зниження шкоди, шкоди майну і втрат, що виникають при цьому а також запобігання несприятливого впливу на навколишнє середовище. Процес управління техногенним ризиком заснований на попередженні (профілактиці) аварійних процесів на ОПН.

Для цього в законодавстві практично всіх країн передбачена розробка Декларації (Звіту) безпеки об'єкта, підприємства, техногенного регіону і т. ін. У разі прийняття рішень щодо рівня безпеки ОПН, передбачено «обґрунтування безпеки ОПН», в якому необхідно показати, що реконструкція, введення в експлуатацію, консервація або інші процеси в ОПН не призводять до перевищення ризику вище прийнятного.

Найбільш привабливим для промисловців є процес проведення ремонтно-відновлювальних робіт підприємств за принципом «ремонт за станом», при якому можливе істотне поліпшення експлуатаційних характеристик обладнання при збереженні прийнятного рівня ризику.

Структурні складові інформаційного забезпечення процесу оцінки та аналізу техногенного ризику представлені на рис. 1.

Для забезпечення цих вимог пропонується виконання такої процедури:

- носій ризику зобов'язаний подати до державного органу реєстрації та регулювання ризику Декларацію (Звіт) промислової безпеки;
- компетентний орган державного управління зобов'язаний забезпечити виконання вимог обов'язкового страхування відповідальності перед третіми особами, які мають в повній мірі покривати максимально можливий збиток (probable maximum loss) від найгіршої аварії на об'єкті підвищеної небезпеки;
- компетентний орган державного управління зобов'язаний прийняти рішення по розбіжностях всіх учасників і забезпечити ефективний контроль за дотриманням вимог чинного законодавства в галузі техногенного ризику.

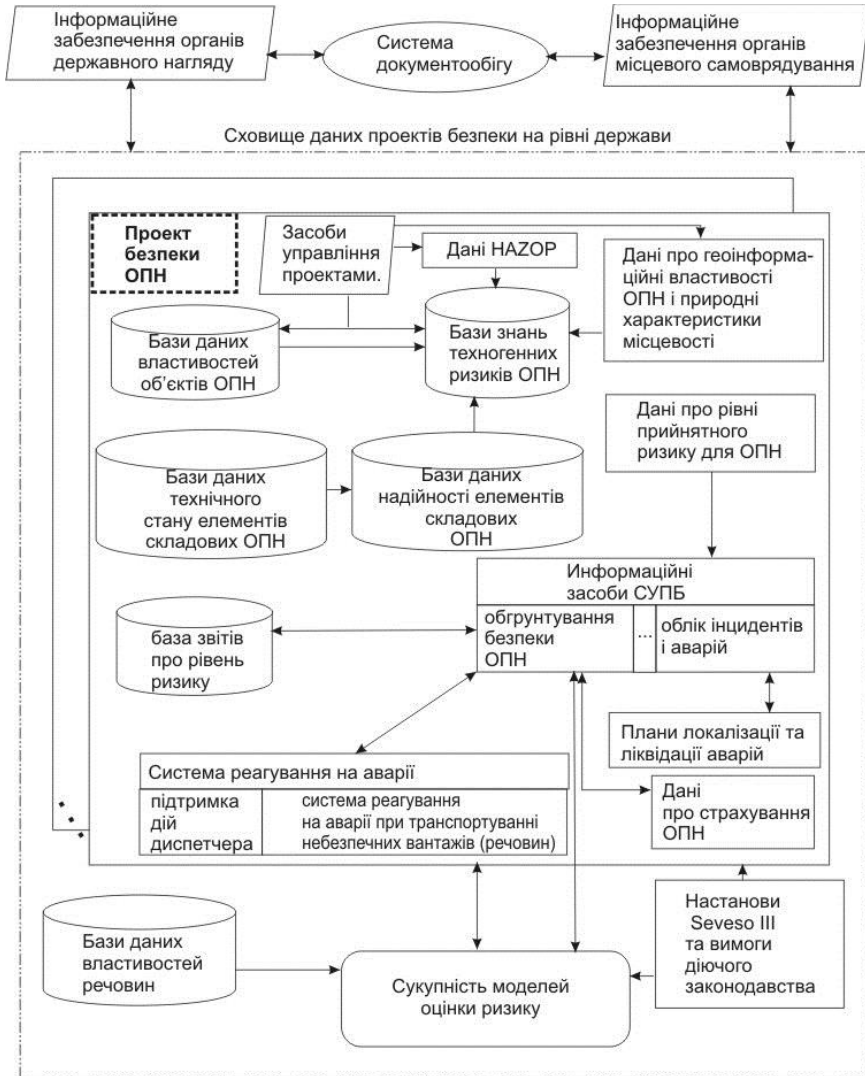


Рис. 1. Структурні складові інформаційного забезпечення оцінки техногенного ризику

Суть процесу ризико-орієнтованого підходу заснована на наступних тезах:

1. Експлуатація ОПН можлива лише в тому випадку, якщо рівень ризику ОПН не призведе до порушення сталого розвитку життєдіяльності в зони впливу цього ризику.

2. Держава і суспільство не повинно покривати збитки, що виникають при

реалізації небезпек на ОПН.

3. Державні органи управління повинні забезпечити умови відновлення нормальної життєдіяльності в разі виникнення аварій на ОПН.

4. Власники ОПН (організації, що експлуатують ОПН) не можуть бути обмежені в правах вільного підприємництва в межах забезпечення прав суб'єктів, причетних до ризику.

Науково-технічна проблема, що вирішується в дисертації, витікає з недосконалості, неповноти та/або некомплексності існуючих моделей, методів й інформаційних технологій щодо отримання основних показників техногенного ризику та аналізу причинно-наслідкових зв'язків виникнення та розвитку аварій і полягає в необхідності отримання основних показників ризику та забезпеченні використання їх в системах підтримки прийняття рішень при управлінні рівнем техногенної безпеки.

Для вирішення цієї проблеми у першу чергу потрібно розв'язати задачу отримання основних показників ризику, характерних для досліджуваних об'єктів.

Основні результати розділу опубліковані в роботах [1,3,6,8,11,21,29,31,33].

**Другий розділ** присвячено розробці математичних моделей оцінки техногенного ризику і формалізації процесу підтримки прийняття рішень в галузі промислової безпеки. Представлені і проаналізовані структурні, інформаційні та математичні моделі, які використовуються для обробки інформації при оцінці техногенного ризику, а також формальна модель процесу підтримки прийняття рішень по досягненню прийняттого рівня техногенного ризику. Запропоновано методи аналізу причинно-наслідкових зв'язків, що характеризують процеси ОПН і методи визначення і моніторингу рівня поточного ризику, пошуку оптимального рішення з урахуванням багатокритеріальних обмежувачів. Запропоновано критерії для прийняття рішень і методи оптимізації по Парето для множин прийнятих рішень і логістики ремонтно-відновлювальних робіт. Представлена структура інформаційних потоків узагальненої інформаційної моделі оцінки ризику (рис.2).

Пропонується використовувати методи, моделі та інформаційні технології для оцінки техногенного ризику, що відрізняються від існуючих комбінованим підходом до моделювання станів складної хіміко-технологічної системи (СХТС). При цьому враховується просторове взаємне розташування джерел небезпеки, причинно-наслідкові зв'язки між спільними і несумісними подіями і процесами в СХТС. Застосування методів зв'язку послідовних процесів, що моделюються дозволяє автоматично отримувати інтегральні показники ризику.

На відміну від відомих методів дискретно-подієвого моделювання (DES) пропонується врахувати як стохастичні параметри, що виникають в графі подій, так і послідовність (хронологію) і динамічні характеристики сполучень взаємовпливаючих і взаємозалежних подій. Для такої формалізації автором дисертації пропонується нижченаведений математичний апарат.



Рис. 2. Схема формування імітаційно-подієвої моделі

Подієво-орієнтований граф визначається як  $Ge = \langle E, \rightarrow, U \rangle$ , де  $E$  – множина подій (станів, відмов, спрацьовувань і т. д. елементів СХТС);  $\rightarrow$  – відношення, що визначає причинно-наслідковий зв'язок подій, що формують ребра графа станів;  $U$  – сигнатура графа, яка містить множину логічних операцій. Крім цього вводиться відношення слідування, в якому враховується часовий наслідок подій  $\rightarrow^{dt}$ , яке встановлює бінарне відношення логічної ситуації виду:  $f(\alpha) \rightarrow^{dt} event$ . Таке відношення встановлює зв'язок між логічною функцією висловлювань «причини» (що ініціюють події або впливи в системі)  $f(\alpha)$  і зв'язковою з ними наступним протягом проміжку часу  $dt$  подією  $event$ . Логічна функція приймає значення «істина» відповідно до логічної формули висловлювання, записаної в галузі «дерева подій» і крім цього містить обчислену вагу ймовірності настання події. Логічні висловлювання між подіями-попередниками і подіями-наслідками формально описують незалежні і спільні події, що визначаються логікою, виявленої при аналізі небезпеки.

Ланцюги графа станів можуть характеризуватися потоками подій (аварійними поєднаннями), які можуть містити змішані стохастичні і

детерміновані події. Для аналізованих формальних описів СХТС характерні неоднорідні потоки подій  $Te = \langle e_i | i = \overline{1, n} \rangle$ , де події характеризуються параметрами події  $p1_i, \dots, pk_i$  (ознаками його настання)  $e_i = \langle t_i, p1_i, \dots, pk_i \rangle$ ,  $t_i$  – час настання події. Якщо час настання події не впливає на наслідки їх реалізації, то воно обнуляється. При цьому потоком залежних подій називається впорядкована множина  $Te = \langle e_i | i = \overline{1, n} \rangle$ , така що:

$$\forall e_i \in Te / \{e_1\} \exists! e_j \in Te \left( (e_j \wedge c_j \rightarrow^{dt_j} e_i) \oplus (e_j \wedge c_j \rightarrow^{dt_j}_{can} e_i) \right),$$

де  $c_j$  і  $dt_j$  – відповідно умова і час виконання або відмови події  $e_j$ , що є наслідком події  $e_j$ .

Потоки подій можуть мати властивості пересічних, непересічних, паралельних, послідовних, а події в різних потоках можуть бути спільними, несумісними і незалежними. Потоки, в яких підсумкові події ланцюгів збігаються, є такими, що сходяться, в разі збігу вхідних подій – розбіжними. Таким чином, правильно побудовані «дерева відмов» характеризуються потоками, що сходяться, а «дерев подій» – розходяться. Так як в різних деревах присутні елементи СХТС, що мають багатофункціональне призначення або які є засобами подвійного призначення (технологічного та протиаварійного), потоки різних дерев можуть перетинатися.

Наведені формальні символічні уявлення, що описують причинно-наслідкові зв'язки подій, потоків подій і операцій над потоками і виразами, а також можливість формально включати в потоки подій математичні моделі фізичних процесів з урахуванням їх динаміки в сукупності уявляю собою *алгебру подій і їх відповідників*. Така алгебра дозволяє в формальному вигляді імітувати поведінку складної дискретної системи як на рівні елементарних подій і впливів, так і на рівні процесів і явищ, що проявляються при виникненні і розвитку аварій.

Описані в роботі положення реалізуються шляхом подання інформації та формалізації процесу перетворення даних таким чином, щоб:

- отримати критеріальні параметри обмежувачів простору ризику – множин показників ризику, перевищення яких не є прийнятним;
- оцінити поточні показники ризику, обумовленого експлуатаційними характеристиками сукупності досліджуваних ОПН для функції ризику;
- встановити відповідність між показниками ризику і вхідними елементами впливу на СХТС і переходів у відповідні стани по впливам  $In \subseteq B(O) \times P$ , при цьому повністю визначена функція  $In : B(O) \rightarrow P$ . характеризує ймовірність



( $P$ ) переходу системи з одного стану в інший при відповідному впливі  $B$  (відмові або спрацьовуванні ( $O$ ) елементів СХТС);

- виділити підмножину аварійних ситуацій (сукупностей сполучень відмов), що представляють неприйнятний рівень небезпеки  $A_m = \{a_j\}$ ;

- визначити ймовірність виникнення цих  $j$ -х ситуацій  $P_s = \{p_{sj}\}$ ;

- визначити множину сценаріїв розвитку аварії з урахуванням ймовірності відмови (спрацьовування)  $k$ -х засобів захисту  $S_c = \{p_{ck}\}$ ;

- визначити фізичні процеси, які становлять небезпеку  $\{\Phi_j\}$ ,  $j = \overline{1, k}$  для сценаріїв  $S_c$ ;

- провести моделювання цих процесів і визначити кількісні показники втрат і інтегральні показники ризику;

- провести аналіз причинно-наслідкових процесів виникнення і розвитку цих аварій і виділити множину елементів СХТС блоків ОПН  $B_l = \{b_q\}$ , для вироблення заходів, що дозволяють підвищити надійність (знизити ризик) безаварійної роботи;

- виконати процес вибору рішень з урахуванням оптимізації на підставі показників ризику, визначити множину рішень  $Tr = \{t_{opt}\}$ ;

- провести повторне моделювання з урахуванням змінених параметрів надійності елементів СХТС за умови прийняття запропонованих рішень і переконаватися в прийнятності інтегрованих показників ризику.

Узагальнена модель оцінки та аналізу техногенного ризику базується на обробці даних представлених кортежем:

$$MTR = \langle Tp, R, In, F(m), Tr, M, M_{acc} \rangle,$$

де  $Tp = \{tp_j\}$  – множина технологічних блоків і елементів СХТС, що належать виділенім ОПН;

$R$  - функція ризику, властивого елементам ОПН, що розглядаються;

$F(m) = \{f(m_i)\}$  – функція вибору поточної необхідної моделі для відповідного  $i$ -го стану системи;

$Tr = \{tr_a\}$  – множина рішень щодо елементів СХТС, що впливають на ризик системи для його зниження;

$M = \{mp_z\}$  – множина наслідків аварійних процесів  $z \in \overline{1, A}$ , властивих для досліджуваних джерел небезпеки (блоків ОПН).

$M_{acc} = \{ma_c\}$  – множина обмежувачів ризику (наслідків), що вважаються «прийнятними».

Завдання формуються наступним чином:

Функція ризику представляється як:

$$R = \langle \mathcal{G}, P, D \rangle,$$

де  $\mathcal{G}$  – вектор параметрів, що визначає сценарій розвитку аварії;

$P = [P_t, P_i, P_{soc}]$  – сукупність ймовірностей несприятливих наслідків;

$D = [C_{des}, N_{ded}]$  – сукупність параметрів наслідків, які характеризують збиток і число уражених при аварії. Нехай СХТС складається з  $i$  підсистем, тоді для будь-якої  $i$ -ї підсистеми визначається ризик НС:

$$R_i = \langle \mathcal{G}, P, D \rangle_i.$$

Передбачається, що відомі:

- детерміновані моделі фізичних процесів, які можуть виникати в  $i$ -ї підсистемі при НС:  $fe_{ij} : \bar{S}_{ij} \rightarrow \bar{\Phi}_{ij}, j=1\dots J$  (набір елементарних подій, що призводять до аварії), де  $\bar{S}_{ij}$  – вектор параметрів, що визначає початковий стан  $i$ -ї підсистеми;  $\bar{\Phi}_{ij}$  – вектор фазових змінних елементарних фізичних процесів, які можуть виникнути в  $i$ -ї підсистемі при аварії;

- модель для оцінки ймовірності виникнення стохастичних елементарних подій:  $Pr_{ij} : (\bar{S}, \bar{\Phi})_{ij} \rightarrow \bar{P}_{ij}, j=1\dots J$ , де  $\bar{P}_{ij} = [P_{ij}^{des}, P_{ij}^{ded}]$  – вектор ймовірностей руйнувань і поразок людей.

Розглядається узагальнена модель надзвичайної ситуації в СХТС для аналізу і передбачення наслідків техногенних аварій, що включає:

- модель, засновану на Байєсовому підході для оцінки ймовірності виникнення несприятливих подій в  $i$ -ї підсистемі в формі («дерева відмов» -  $\pi_k : (\{\bar{P}_{ij}\}, \bar{\mathcal{G}}_k) \rightarrow \bar{P}_{ki}$ );

- імітаційну модель (дискретно-подієву) розвитку аварії в формі «дерева подій» -  $\mu_k : \{(S, \Phi, \bar{P}_k)_i, \bar{\mathcal{G}}_k\} \rightarrow \bar{D}_{ki}$ , де  $S_i = \{\bar{S}_{ij}\}$ ,  $\Phi_i = \{\bar{\Phi}_{ij}\}$ ,

$\bar{D}_k = \sum_i \bar{D}_{ki}$  – інтегральні показники збитку від досліджуваної  $k$ -ї потенційної аварії.

Сукупний набір поєднань дерев відмов і дерев подій всіх  $i$ -х підсистем досліджуваних джерел небезпеки, а також показників очікуваного збитку

(включаючи ураження людей) можна представити єдиним графом станів СХТС, підлягає аналізу і обробці даних на предмет прийняття рішень в багатокритеріальному просторі обмежувачів.

Завдання багатокритеріальної оптимізації розглядається як завдання одночасної оптимізації всіх приватних критеріїв.

Необхідно шукати *ефективне рішення*  $\bar{x} \in X$  *по Парето*, таке, що, якщо не існує іншого рішення серед аналізованих альтернатив, перехід до якого дозволить поліпшити показник хоча б одного з частинних критеріїв, щоб при цьому не погіршилися б показники інших приватних критеріїв.

Пропонується:

1. виділити множину всіх аварійних ситуацій, для яких спостерігається перевищення показників ризику над прийнятними:

$$D_k^* = D_k \setminus M_{acc} = \{d / d \in D_k, d \notin M_{acc}\}.$$

2. Якщо виділена множина не є порожньою, для всіх її елементів необхідно провести процедуру пошуку рішень із застосуванням методів оптимізації в просторі Парето за рахунок звуження множини невідоміючих рішень.

3. В якості методу просування до фронту Парето пропонується використати відношення переваги  $\succ_X$ , котрі задані для множин можливих рішень:  $f(x') \succ_Y f(x'') \Leftrightarrow x' \succ_X x''$  для будь яких рішень  $x', x'' \in X$ .

Використовуючи в якості елементів векторного критерія набір приватних критеріїв  $g^{(k)}(x)$  формується задача багатокритеріального вибору, що включає: множину можливих рішень  $X$ ; векторний критерій  $f$ ; відношення переваги  $\succ_X$ , що визначаються «особами, що приймають рішення» (експерти, що оцінюють ризик ОПН).

У розділі також описані інформаційна модель моніторингу ризику і формальна модель процесу підтримки прийняття рішень.

Основні результати розділу опубліковані в роботах [1, 3, 10, 11, 16, 21, 31, 33, 22]

**У третьому розділі** представлені основні положення методології, методів, засобів оцінки техногенного ризику об'єктів підвищеної небезпеки, отримання показників ризику, аналізу отриманих даних і підходів до прийняття рішень на їх основі.

Описано методи імітаційного-подієвого моделювання процесів, що відбуваються в СХТС і призводять до аварій на базі аналізу відмов елементів СХТС, побудови причинно-наслідкових зв'язків, формалізації цих зв'язків шляхом розробки «дерев відмов» (FTA – fault tree analysis) і методи оцінки ефективності та

надійності засобів захисту з використанням механізму «дерев подій» (ETA – event tree analysis) і отримання кількісних даних про ймовірності реалізації підсумкових негативних фізичних процесів, що виникають при аваріях. При цьому стає можливим прийняття принципів рішень щодо рівня надійності та ефективності протиаварійних заходів.

Отримання інтегральних показників ризику здійснюється наступним чином.

1. Перший інтегральний показник ризику представлений «перерізом територіального ризику» функцією  $P_t^d(x, y)$  ймовірності поразки в заданій точці території. Фіксуються три види ураження  $d$ : смертельне, тяжке, легке.

2. Для одного «дерева подій» всі загрози, представлені в кінцевих подіях є «несумісними». Це означає, що підсумкове поле ризику для всіх загроз, представлених в кінцевих подіях одного дерева відмов, є сумою ймовірностей всіх полів умовного територіального ризику  $P_{i,j}$  (з індексованими  $(i, j)$  осередками простору ризику), отриманих в кожному кінцевому сценарії, помножених на ймовірність цієї кінцевої події  $Pk_s$  (всього  $n$  кінцевих

подій):  $Psum_{i,j} = \sum_{s=1}^n (P_{i,j} \cdot Pk_s)$ , при умові, що  $Pk_s$  при умові  $P_{FTA_e} = 1$ , тобто – ймовірність початкової події дорівнює 1.

«Дерева відмов» представлені для джерел небезпеки (елементів обладнання СХТС). Для одного джерела може бути кілька дерев. Також може бути множина джерел небезпеки. Для всіх, представлених в проєкті джерел небезпеки і дерев відмов підсумкове поле ризику розраховуємо шляхом добутку ймовірності верхньої події дерева відмов  $P_{FTA_s}$  на поле територіального ризику, отримане для відповідного дерева подій і далі розрахунок підсумкового поля за формулою:

$$Pu_{i,j} = 1 - \prod_1^e \left( 1 - (P_{FTA_e} \cdot Psum_{i,j_e}) \right)$$

Концепція «прийнятного ризику» базується на чотирьох основних принципах:

– експлуатація об'єкта підвищеної небезпеки не може бути виправдана, якщо вигода від цієї діяльності в цілому не перевищує шкоди, можливої при аваріях;

– збалансування витрат на створення систем безпеки, призначених для зниження рівня ризику і отримання вигоди, одержуваної від експлуатації небезпечного об'єкта вважається оптимальним;

– необхідно врахувати всі можливі існуючі небезпеки;

– реалізація допустимих екологічних показників (забезпечення поточної безпеки людей і природи), досягається на підставі принципу, який би не призводив до ризику невідроджуваності природних балансів і небезпеки для майбутніх поколінь.

Процес побудови дерева відмов являє собою сукупність прийомів, що дозволяють створити форму упорядкованого графічного представлення логіко-ймовірнісної зв'язку випадкових подій (порушень, відмов, помилок і т.д.), що призводять до реалізації небажаної події ("верхнє подія"). При цьому використовуються логічні операції:

AND – ймовірність реалізації підсумкового події обчислюється за формулою:  $P_e = \prod_{i=1}^n P_i$ ; OR – ймовірність реалізації події обчислюється за

формулою:  $P_e = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i)$ ; XOR – ймовірність події обчислюється за

формулою:  $P_e = \sum_{i=1}^n P_i$ ; число випадків, при яких відмов можливо не менше, ніж

L з K елементів - ймовірність відмови не менше ніж L з K елементів обчислюється відповідно до формули Бернуллі:  $P = \sum_{i=L}^K \frac{K!}{i!(K-i)!} \cdot p^i \cdot (1-p)^{K-i}$ .

Повністю побудоване дерево відмов є функціонально повноцінним і може як розраховуватися, так і бути підданим аналізу. Аналіз з використанням коефіцієнтів значущості заснований на наступному: обчислюється три значення ймовірності верхнього події F (X) – ймовірність реалізації верхнього події при встановлених значеннях подій в дереві (гілки), F(1) – ймовірність реалізації верхнього події при встановлених значеннях подій в дереві (гілки) і ймовірності реалізації досліджуваної події = 1, F (0) – ймовірність реалізації верхнього події при встановлених значеннях подій в дереві (гілки) і ймовірності реалізації досліджуваної події = 0.

Запропоновано до використання наступні коефіцієнти:

1. По Бірнбауму (Birnbbaum):  $B(x) = F(1) - F(0)$ .
2. Коефіцієнт зменшення ризику КЗМР:  $RRR = F(X) / F(0)$ ,  $F(0) \neq 0$ .
3. Інтервал зменшення ризику ІЗМР:  $RRI = F(X) - F(0)$ .
4. Коефіцієнт збільшення ризику КЗБР:  $RIR = F(1) / F(X)$ .
5. Інтервал збільшення ризику ІЗБР:  $RII = F(1) - F(X)$ .
6. По Фусселу-Весели (Fussell-Vesely):  $FV = (F(X) - F(0)) / F(X)$ ,  $F(X) \neq 0$ .
7.  $(F(1) - F(0)) * F(A) / F(X)$  – критичний коефіцієнт значущості ККЗ, де F(A) – ймовірність вихідної події,  $F(X) \neq 0$ .

У розділі також описані методи оцінки ефективності та надійності засобів протиаварійного захисту і засобів подвійного призначення на базі аналізу подій.

Матеріал даного розділу є підставою для подальшого отримання кількісних показників масштабів аварійних процесів і визначення рівня надійності техногенних об'єктів і їх компонент.

Основні результати розділу опубліковані в роботах [1,3,7,10,11,21,25,31].

**Четвертий розділ** присвячений розробці формальних методів, моделей оцінки рівня експлуатаційної надійності і наслідків аварій. Описано методи: отримання інформації і підготовки вхідних даних, необхідних для оцінки ризику; показників і коефіцієнтів поразок людей і руйнування об'єктів при впливі на них факторів аварій, що уражають і руйнують; методи подання інформації в просторі і часі прояви аварійних процесів з використанням ГІС технологій. Описано основні методи визначення збитку і найбільш важливих показників для прийняття рішень по страхуванню.

Представлені методи проведення SIL аналізу і оптимізації при виробленні вимог до надійності електронних, електричних і програмованих пристроїв в системах управління і засобах подвійного призначення блоків ОПН. Описано методи визначення надійності елементів ОПН в СХТС, визначення граничних показників працездатності обладнання в період припустимого залишкового ресурсу.

Моделювання процесів ризику проводиться в просторі прояви ризику з урахуванням стохастичних характеристик подій і процесів і детермінованих наслідків їх реалізації.

Суть показників ризику, необхідних для аналізу і прийняття рішень щодо їх приведення до прийнятних полягає у визначенні відповідності «ймовірність → наслідки» в межах перевищення допустимих негативних наслідків, для яких перевищується рівень допустимої ймовірності їх реалізації.

Для визначення «ймовірності» подій застосовуються описані методи аналізу причинно-наслідкових зв'язків (FTA і ETA), аналізу стохастичних показників обладнання та елементів СХТС, паспортні дані та інші.

Моделювання небезпечних процесів запропоновано організувати з використанням технології «плагінів» - підключених моделей, що дозволяє використовувати «конструктор» моделей і розширювати можливості моделювання за рахунок впровадження сумісних форматів представлення інформації.

При виконанні роботи розроблені автором дисертації і впроваджені такі базові моделі:

1. Поширення небезпечних речовин в атмосфері. Заснований на гаусовій моделі поширення нейтрального газу в атмосфері під дією вітру з урахуванням стратифікації атмосферних умов, виду місцевості і потужності джерела викиду. Існує окремий модуль розрахунків концентрацій домішки в просторі і часі класу CFD (*Computational fluid dynamics*). Запропоновано вирішення системи нестационарних рівнянь Нав'є-Стокса для стисненого газу. При описі процесу змішування двокomпонентної домішки в досліджуваному випадку досить описати

усічені рівняння Нав'є-Стокса, які отримані шляхом відкидання в'язких членів (допущення Ейлера з джерельними членами). Розрахунковою областю простору є паралелепіпед, розташований у правій декартовій системі координат ( $X, Y, Z$ ) з основою в площині  $XOZ$  (вісь  $Y$  орієнтована в напрямку, протилежному дії сил тяжкості). Вирішувалася повна система рівнянь, що описує нестационарну тривимірну течію двокomпонентної суміші газів в даній постановці має вигляд:

$$\frac{\partial \bar{a}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{b}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{c}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{d}}{\partial z} = \rho \bar{f}$$

де  $\bar{a}, \bar{b}, \bar{c}, \bar{d}$  – вектор-стовбці виду:

$$\bar{a} = [\rho, \rho u, \rho v, \rho w, E]^T;$$

$$\bar{b} = [\rho u, P + \rho u^2, \rho uv, \rho uw, (E + P)u]^T;$$

$$\bar{c} = [\rho v, \rho uv, P + \rho v^2, \rho vw, (E + P)v]^T;$$

$$\bar{d} = [\rho w, \rho uw, \rho vw, P + \rho w^2, (E + P)w]^T;$$

$$\bar{f} = [0, 0, -g, 0, -gv + e_s / \rho]^T$$

де  $u, v, w$  – складові вектору швидкості  $q$ ;  $P, \rho$  – тиск і щільність;  $E$  – повна енергія одиниці об'єму суміші газів; компоненти вектору  $\bar{f}$  – суть проекції розподілених об'ємних джерел,  $g$  – прискорення вільного падіння,  $e_s$  – інтенсивність тепловиділення в одиниці об'єму газу внаслідок хімічної реакції.

Закон перенесення компоненти суміші з урахуванням швидкості дифузії має вигляд:  $\frac{\partial(\rho Q)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u Q)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v Q)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w Q)}{\partial z} = \rho_{Qt} + \rho_{Qs}$ , де  $Q$  – відносна

масова щільність домішки;  $\rho_{Qt}$  – інтенсивність зміни щільності домішки внаслідок дифузії;  $\rho_{Qs}$  – інтенсивність зміни щільності домішки внаслідок хімічної реакції.

Система рівнянь замикається рівняннями, що визначають теплофізичні властивості компонент суміші.

2. Уламки. Заснований на моделюванні розльоту фрагментів обладнання і конструкцій в атмосфері, можливості попадання в об'єкти, ймовірного ураження людей, пробиття обладнання та об'єктів.

3. Пожежі. Заснований на моделях пожежі розливу, вогняної кулі, струменевого факельного горіння (вертикального, горизонтального). Призначений для вирахування характерних розмірів пламен пожежі і впливу теплового

випромінювання на людей і матеріали, можливості ураження людей і загорання матеріалів.

4. Вибухи. Заснований на моделюванні вибухів твердих вибухових речовин, піротехнічних відкладень, газо-повітряних сумішей, фізичних вибухів (першого роду – руйнування судини високого тиску) і закипання перегрітої рідини (третього роду – BLEVE). Модуль виконує функції визначення характеристик ударно-хвильових навантажень, можливості ураження людей і руйнування об'єктів (будівель, споруд, обладнання).

Приклади роботи деяких моделей і їх опис представлені в додатках дисертації.

Пропонується визначити імовірність різних ступенів отруень на підставі функції щільності ймовірності поразки:

$$P = \int_0^x \frac{1}{(2 \cdot \pi)^{1/2} \cdot \sigma \cdot x} \cdot \exp \left[ \frac{-(\ln(x) - m^*)^2}{2 \cdot \sigma^2} \right] dx \cdot \text{або} \quad P = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \int_{-\infty}^{Pr-5} \exp \left[ \frac{-t^2}{2} \right] dt \cdot$$

де  $x = \int_{t_b}^{t_e} c(t)^n dt$ ;  $\sigma$  – 1-й параметр розподілу;  $m^*$  – 2-й параметр розподілу;

$Pr$  – функція, що залежить від концентрації та часу, найчастіше розраховується як  $Pr = a + b \ln(x)$ . Коефіцієнти  $a$  і  $b$  отримуються на підставі обробки експериментальних даних. Вони також пов'язані з параметрами логарифмічного

розподілу таким чином:  $\sigma = \frac{1}{b}$ ;  $m^* = \frac{5-a}{b}$ . При цьому найчастіше концентрація

вимірюється в  $ppm$ , час впливу в хвилинах.

На основі інформації, представленій в даному розділі розроблені програмні засоби автоматизованої системи підтримки прийняття рішень при оцінці ризику, описані в наступному розділі.

Графічні засоби програмного забезпечення дозволяють уявити поширено об'єктні дані будь-яких метричних елементів, таких як: карти (растрові метричні об'єкти, масштабовані в системі ECEF і мають прив'язку до географічних даних в довготі і широті), регіони (простір розподілу людей), об'єкти життєдіяльності, джерела небезпеки та ін. Число шарів необмежено. Всі шари і об'єкти пов'язані в єдину систему координат. Також об'єктними елементами представляються всі графічні елементи розрахункових даних, що мають просторові характеристики.

В результаті створення проекту і внесення картографічних і об'єктних даних, формується повне просторове уявлення про зони ризику. При розрахунках всі необхідні відстані, ймовірність попадання осколків в об'єкти, шляхи евакуації та інші дані обчислюються автоматично.

Деякі процеси, що моделюються, мають параметри, що змінюються в просторі-часі. Наприклад, поширення токсичної домішки в атмосфері. У цьому



випадку в системі передбачено подання даних за рівнем висоти і в динаміці (покрокове кадрове подання полів відображуваного параметра).

Визначення кількісних показників шкоди, що виникає при аваріях може виявитися дуже складним завданням. Для прийняття рішень частіше всього необхідні не точні обчислення шкоди (як це прийнято в бухгалтерських розрахунках), а, скоріше, оцінки в межах похибки, що не перевищує шукані в рішеннях відповіді. У будь-якому випадку необхідно враховувати наступне:

1. Збиток розділяється на «прямий», «відкладений», «супутній» та інше;
2. Існує корелюючий взаємозв'язок між «прямим» і іншими видами збитку. Це означає, що «прямий» збиток лежить в основі інших наслідків, одержуваних в результаті його настання;
3. Необхідно розділяти форми настання збитку;
4. Важливо визначити рівень максимально можливого збитку (прямого і відкладеного) PML, більш якого прояв ризику неможливий для досліджуваного об'єкта з урахуванням всіх форм настання збитку;
5. Необхідно виділяти збиток, що наноситься третім особам від збитку, котрий несе власник ОПН;
6. Ризик  $R$  в загальному випадку розраховується підсумовуванням добутків можливих дискретних значень шкоди здоров'ю та життю працівника  $U_i$

на ймовірності їх настання  $P_i$ :  $R = \sum_{i=1}^N P_i \cdot U_i$ , де  $N$  – кількість окремих значень

можливих збитків (одного типу, однієї розмірності) або об'єднуючих їх груп;

7. Обчислюване значення  $R$  є математичним очікуванням дискретної випадкової величини - шкоди здоров'ю та життю працівника. Якщо збиток  $U$  є безперервною випадковою величиною, що має щільність розподілу ймовірностей  $f(U)$ , то ризик розраховують за формулою:  $R = \int Uf(U) dU$ .

Деякі методи визначення шкоди наведені в додатках.

Методи аналізу показників ризику засновані на послідовній локалізації та визначенні причин і характеристик технологічних показників, що призводять до неприйняттого рівня ризику. На рис. 3 наводиться схема послідовного аналізу показників ризику.

Важливими даними для аналізу ризику є:

1. Просторові характеристики прояви небезпечних впливів при аваріях. Визначення меж поразок і руйнувань дозволяє локалізувати зони ризику і визначити його учасників.
2. Максимально можливий збиток PML (і подальший розподіл збитку для всіх аналізованих аварійних процесів). Оцінка збитку дозволяє локалізувати область фінансовий ризиків і провести порівняння з економічними можливостями

відновлення для всіх учасників ризику. PML є основою для утворення страхової суми відшкодування і страхової відповідальності. При цьому важливо, що описані в роботі методи оцінки ризику дозволяють диференціювати можливий негативний вплив на різних учасників ризику і тим самим розділити рівні відповідальності.



Рис. 3. Схема проведення аналізу ризику

3. Очікуваний збиток. Відповідність можливого збитку і ймовірності його реалізації дає можливість сортувати і виділити множину аварійних процесів, для яких необхідно змінювати рівень ризику і виробити не тільки розпорядження з боку наглядових органів, а й область заходів, що дозволяють досягти прийнятного рівня ризику.

4. Поля територіального ризику, можливе і очікуване число уражених.

5. Показники індивідуального та соціального ризику.

6. Залишковий ресурс, ймовірність відмови обладнання і елементів СХТС (включаючи людський ресурс).

Завдання аналізу ризику полягає: у визначенні меж простору ризику, об'єктів відповідальності, що знаходяться під впливом підвищеного ризику, елементів і процесів СХТС, за рахунок яких виникає перевищення прийнятного

рівня ризику та виробленні рішень і заходів, що дозволяють знизити показники небезпеки та ймовірності відмов цих елементів; проведенні передстрахової процедур і подальшого обов'язкового страхування відповідальності перед третіми особами; обґрунтування рішення розбіжностей тріумвірату учасників ризику.

Основні результати розділу опубліковані в роботах [1, 2, 3, 7, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 20, 21, 26, 30].

**У п'ятому розділі** описано практичні результати та засоби реалізації інформаційної технології підтримки прийняття рішень в галузі техногенної безпеки як на об'єктовому, так і на державному рівнях.

Представлені відомості про програмні засоби, розроблені в рамках реалізації інформаційної технології підтримки прийняття рішень при оцінці техногенного ризику на основі методів ризик-орієнтованого підходу забезпечення прийняттого рівня безпеки. Описано функції програмного комплексу, можливості їх розширення на базі основного проекту і підключення додаткових розрахункових модулів і модулів управління звітами. Представлена реалізація різних варіантів додатків desktop і web. Представлена структура програмних і апаратних засобів системи підтримки безпеки переміщення небезпечних вантажів, описані методи моніторингу поточного стану переміщення небезпечних вантажів і реагування на виникнення аварійних ситуацій.

Описано організаційні та економічні методи впливу на техногенний ризик, що дозволяють здійснити регуляторні функції на основі об'єктивних показників небезпеки і забезпечити сталий розвиток суспільства шляхом застосування економічних механізмів страхування та прийняття рішень щодо рівня експлуатаційної надійності ОПН.

Розробка програмних засобів системи підтримки рішення та оцінки техногенного ризику проводилася в Німеччині та Україні при постановці завдання і керівництві розробкою автором дисертації.

В основі програмних засобів лежить додаток, що здійснює доступ до всіх засобів комплексу в структурі «проекту» – засоби модульної побудови процесу подання та обробки даних, що дозволяє структурувати зв'язкові взаємозалежні дані і моделі в формалізоване спрямоване дослідження ризику. При цьому вкладеність модулів визначає спрямованість обчислень завдяки деревовидної ієрархічній структурі, що відображає причинно-наслідкові процеси, характерні для досліджуваного ОПН. Схема модульної обробки даних показана на рис. 4.

Засоби управління проектом програмного комплексу дозволяють створити, відкрити, об'єднати проекти дослідження ризику в структуру проекту, забезпечивши ієрархічне представлення даних і моделювання небезпечних процесів, характерних для ОПН.

Засоби управління інформаційними даними дозволяють вводити картографічні дані і створювати векторні об'єкти (і вносити їх властивості), які

можуть бути необхідні в дослідженні ризику. На рис. 4 представлені інтерактивні засоби управління об'єктивними графічними даними.

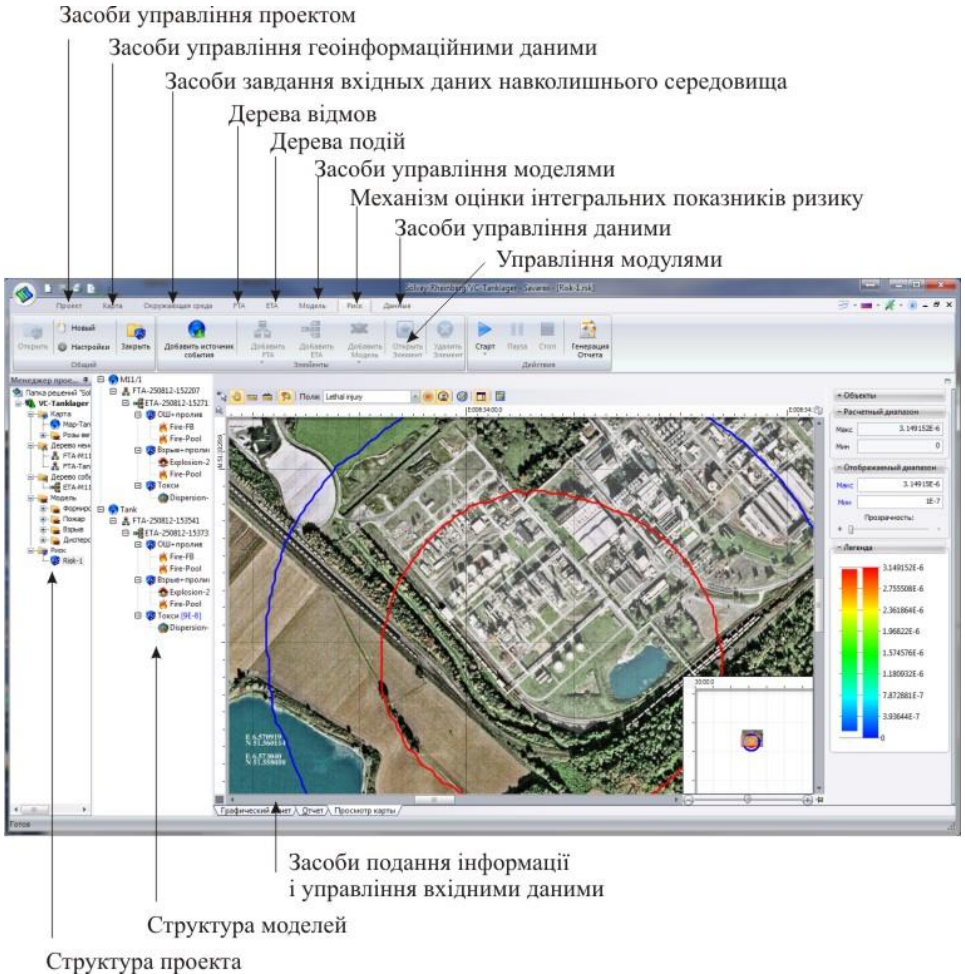


Рис. 4. Структурна схема модульної обробки даних «проекту»

Засоби завдання даних навколишнього середовища дозволяють ввести «розу вітрів» та інші дані, що характеризують кліматичні умови, характерні для даної місцевості. Засоби управління «деревями відмов» і «деревями подій» дозволяють інтерактивно створювати, редагувати, пов'язувати і управляти множиною причинно-наслідкових зв'язків процесів в ОПН, виявлених в процесі проведення аналізу HAZOP і подальшого дослідження наслідків аварій. За

допомогою цих засобів створюється база знань «проекту» і структуруються дані для проведення розрахунків і пошуку оптимальних рішень по приведенню ризику до прийняттого рівня.

Засоби управління моделями дозволяють вибирати модулі зі списку включених до складу моделей проекту та проводити математичне моделювання процесів, описаних в даних модулях, підключати нові модулі шляхом використання динамічних бібліотек і створення та сполучення даних вводу-виводу модулів, представлених в xml – структурі розширеної мови розмітки (*eXtensible Markup Language*). Всі формати і структури представлення даних комплексу програмних засобів є стандартними і відкритими для програмістів і користувачів. Таким чином програмний комплекс є відкритим для необмеженого розширення можливостей моделювання. Оцінка інтегральних показників і подання даних ризику забезпечена в модулі «Ризик». Засоби модуля дозволяють редагувати структуру процесів ризику, виділяти області перевищення ризику і множини аварійних ситуацій, які до нього призводять, а також оформляти повний звіт про ризик в одному із стандартних форматів і в структурі, що задається шаблоном звіту. Шаблони звіту створюються і завантажуються в html стандарті.

Засоби управління даними дозволяють підключати бази даних, вибрати дані з полів баз, здійснювати пошук, редагування, фільтроване управління даними. Реляційні бази даних, що підключаються, могут бути представлені поширеними форматами.

Приклад створення «проекту» для обраного ОПН представлений на рис. 5. Синтез імітаційно-подієвої моделі здійснюється шляхом заповнення відповідних позицій «засобів управління проекту»:

1. Розробляється «дерево відмов» для визначеного в HAZOP проявлення небезпеки засобами FTA. При цьому значення ймовірності «верхньої події» «дерева відмов» автоматично пов'язується з послідовно описуваному «дереву подій» засобами ETA.

2. Кожна кінцева гілка «дерева подій» автоматично пов'язується з описаними кінцевими подіями, що виникають в результаті зв'язного сценарію «відмов-впливів», представлених логічним зв'язком FTA-ETA, який вноситься за допомогою засобів управління моделями.

3. Всі блоки в імітаційно-подієвої моделі пов'язані між собою за допомогою структурованого запису, що містить сполучені параметри входу-виходу кожної окремої математичної моделі небезпечного фізичного процесу. Моделі зв'язуються в послідовний ланцюг подій, що відбуваються в часі спільно або незалежно.

4. Множина гілок імітаційних моделей об'єднані в проект в базу знань можливих подій ОПН і описують всі множини аварійних станів і процесів, які виявлені під час проведення аналізу безпеки і працездатності СХТС.



Рис. 5. Приклад сполучення моделей при синтезі імітаційно-подієвої моделі

Використання розроблених програмних засобів *системи підтримки безпеки переміщення небезпечних вантажів* СПБПНВ дозволяє оперативну реагувати на загрозу і виникнення аварій, що представляють значну загрозу і отримувати вичерпну інформацію про небезпеку, що виникла: місце виникнення аварії, прогнозі розвитку уражаючих чинників аварії в часі (з урахуванням поточних погодних умов), зонах поразок, можливої кількості людей і об'єктів, що потрапляють в зону дії уражаючих факторів (за умови попереднього внесення вхідних векторних даних), кількості небезпечних речовин, що беруть участь в розвитку аварії.

Структура програмних і апаратних засобів СПБПНВ представлена на рис. 6.

Функції засобів підтримки переміщення небезпечних вантажів полягають в наступному:

- будь-який вантаж, який переміщується класифікований як об'єкт (речовина) підвищеної небезпеки та ідентифікований відповідно до вимог директиви Seveso III, реєструється в спеціальній базі даних логістичної компанії і піддається безперервному моніторингу поточного стану протягом всього часу переміщення від моменту завантаження, до моменту вивантаження одержувачу;

- поточний стан вантажу фіксується за трьома категоріями: нормальне (зелений), небезпечне (жовтий), аварійне (червоний). Аварійний стан передбачає неприпустимий стан вантажу і необхідність негайного втручання та ліквідації аварії. Безпосередньо причини і небезпека виникнення аварії попередньо

аналізуються, можливо з використанням засобів і методів інформаційної технології, представленої в дисертації;

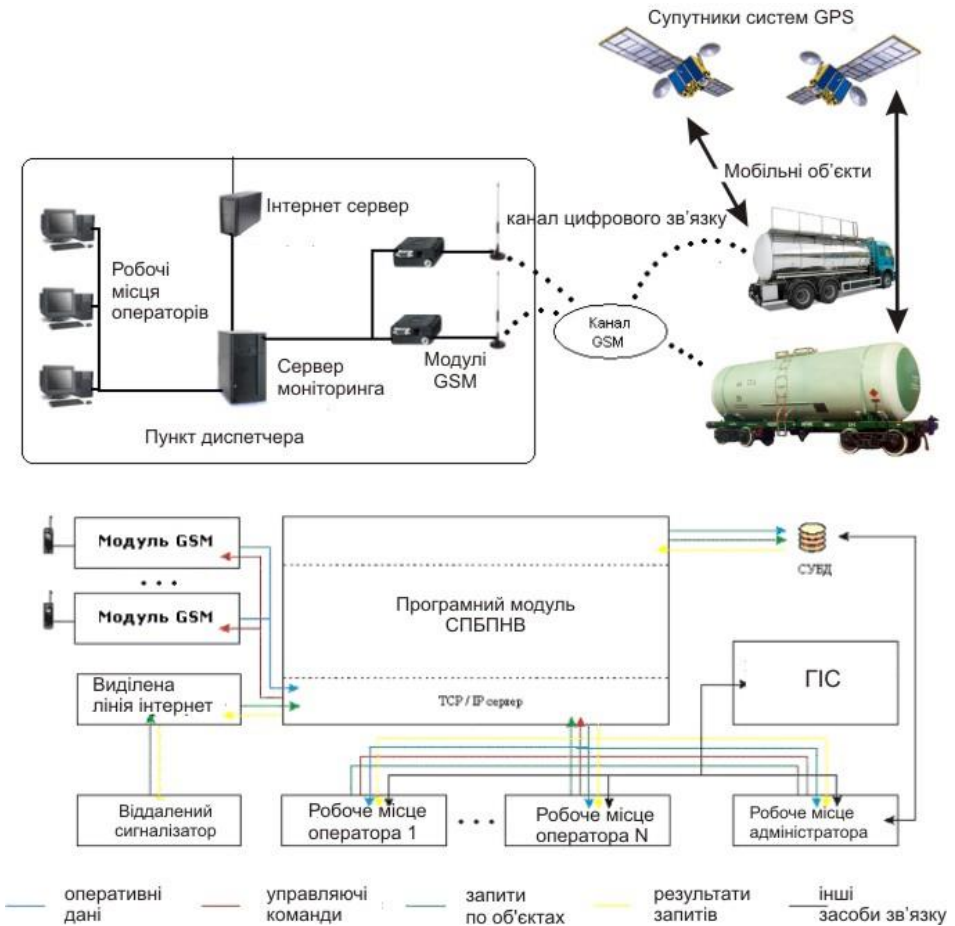


Рис. 6. Структура програмних і апаратних засобів СПБПНВ

- кожному об'єкту переміщення небезпечних вантажів розробляється набір моделей аварійних процесів, характерних для експлуатаційних показників об'єкта;
- в разі виникнення аварії засоби транспортування небезпечних вантажів, спеціальний сигналізатор має безперервний зв'язок з диспетчером, який працює в стандартах протоколів GSM, прийнятих в ETSI і експлуатованих відповідно до проекту систем диспетчерського зв'язку, посилає код аварії відповідного рівня диспетчеру. Встановлюється зв'язок з системою Savagex через додаток Ovridia (за

умови сполучення систем на контрактній основі) і підготовлені дані обробляються з використанням включених моделей.

Отримані оперативні результати прогнозу негайно висилаються з використанням мережевих ресурсів диспетчеру і одночасно штабам відповідних служб НС. Далі виробляються дії відповідно до плану ліквідації аварій (ПЛА).

У розділі запропоновано й описано організаційні та економічні методи впливу на техногенний ризик на об'єктовому і державному рівнях.

Основні результати розділу опубліковані в роботах [6, 7, 8, 9, 10, 31, 33].

## ВИСНОВКИ

В результаті проведених теоретичних досліджень і практичного їх впровадження в дисертаційній роботі вирішено важливу науково-практичну проблему оцінки техногенного ризику та забезпеченні використання цих оцінок в системах підтримки прийняття рішень при управлінні рівнем техногенної безпеки, що досягнуто завдяки застосуванню розробленого математичного та програмного забезпечення, що ґрунтується на використанні сучасних засобів аналізу даних багатокритеріальної системи, адаптацією інформаційних технологій до специфіки задач предметної області.

У межах запропонованої концепції на прикладі промислових об'єктів та систем отримано такі основні наукові теоретичні та прикладні результати і зроблено наступні висновки:

1. Комплексний аналіз сучасного стану законодавчої, методичної, інформаційної бази, яка забезпечує промисловість, суспільство і державні наглядові органи інформаційними засобами в галузі оцінки техногенного ризику, показав, що наукове товариство має широкий інтерес до даної теми і розроблено низку окремих технологій, що дозволяють оперувати показниками ризику з метою прийняття рішень про можливість експлуатації ОПН. Разом з тим, ще не розроблені і не використовуються методи, що дозволяють комплексно вирішити проблему оцінки та аналізу техногенного ризику та дозволяють забезпечити сталий розвиток суспільства. На основі проведеного аналізу обґрунтовано актуальність розробки високоефективних інформаційних засобів і їх подальшого розширення і модернізації, завдяки яким можна підтримувати прийняття оптимізованих об'єктивних рішень з безпечного ведення технологічних процесів.

2. В роботі обґрунтовано і сформовано теоретичні положення основних моделей і методів оцінки техногенного ризику шляхом визначення поточних об'єктивних показників рівня небезпеки і надійності об'єктів підвищеної небезпеки на відповідній стадії життєвого циклу і дослідження формалізованих поєднань причинно-наслідкових зв'язків, що відображають процес виникнення і розвитку аварій і їх наслідків. Розроблено інформаційну модель оцінки та аналізу техногенного ризику, що дозволяє забезпечити ризико-орієнтований підхід при прийнятті технічних і організаційні рішень щодо приведення поточного ризику до прийнятного.



3. На базі інформаційної моделі розроблені програмні засоби, що дозволяють провести моделювання та аналіз складної технологічної системи з метою оптимізації витрат на підтримку необхідного рівня безпеки.

4. Вперше запропоновано концепцію створення і застосування інформаційних технологій комплексного аналізу та розробки рішень при оцінці техногенного ризику за рахунок методів синтезу імітаційно-подієвих моделей процесів складної хіміко-технологічної системи об'єктів підвищеної безпеки, що, на відміну від існуючих, засновані на аналізі причинно-наслідкових зв'язків ймовірних подій і їх наслідків, просторово-часових характеристиках негативних наслідків та оцінці інтегральних показників ризику.

5. Вперше сформовано теоретичні підходи до визначення рівня безпеки об'єктів підвищеної небезпеки за рахунок автоматизації збору, групування та аналізу даних і представлення їх в базі знань з використанням геоінформаційних технологій, що дозволяє визначити значення прийнятного та поточного рівня ризику та зробити прозорим процес владнання розбіжностей між суспільством та промисловцями. Такий підхід відрізняється від відомих тим, що дозволяє отримати інтегральні показники стохастичних негативних наслідків, розподілених в просторі.

6. Вперше розроблено багаторівневий підхід до моделювання та аналізу можливих аварійних подій та визначення їх наслідків, який відрізняється від відомих тим, що дозволяє використовувати моделі як фізичних явищ, так і моделі знань причинно-наслідкових подій і методи аналізу відмов для пошуку множин альтернативних рішень, оптимізованих в сенсі Парето рішення задля багатокритеріальних цільових функцій на основі використання коефіцієнтів значущості і вподобань. Такий підхід дає можливість автоматизувати процес обробки інформації при пошуку рішення в стратегії коригування техногенного ризику та забезпечити доказовість в стратегії риведення ризику до прийнятного.

7. Одержала подальший розвиток модель прийняття рішень в умовах невизначеності, що заснована на аналізі багатьох різноспрямованих цілей при наявності конкуруючих рішень за рахунок спільного використання методів навігації в просторі Парето та прямого математичного моделювання при оцінці рівня безпеки техногенних об'єктів, що надає можливість використовувати її на всіх етапах узгодження протиріч.

8. Одержав подальший розвиток метод планування зниження рівня техногенної безпеки та ризику з використанням принципу ALARP, що дозволяє обґрунтувати запропоновані процеси управління промисловою безпекою, планувати заходи по збільшенню безпеки підприємств з урахуванням вимог законодавства, впровадити моніторинг ризику та розробку планів ремонтно-відновлювальних робіт.

9. Одержала подальший розвиток методика визначення основних небезпечних показників аварій, що використовується в інформаційній технології оцінки ризику для проведення страхування об'єктів підвищеної безпеки та обов'язкового страхування відповідальності перед третіми особами.

10. Одержала подальший розвиток методика визначення показників планування ремонтно-відновлювальних робіт в режимах «ремонт по стану» з

урахуванням показників ризику, що дозволяє виключити з планування капітального ремонту елементи обладнання, відмови яких не перевищують припустимі показники ризику.

11. Удосконалено модель опису небезпечних процесів та станів техногенних об'єктів, в якій, на відміну від існуючих, враховуються динаміка небезпечних процесів, стан та властивості об'єктів, що знаходяться в небезпеці, стохастичні властивості елементів систем та процесів, які аналізуються, що дозволяє визначити кількісні показники ризику для пошуку оптимальних рішень щодо прийнятного рівня ризику.

12. Удосконалено модель класу CFD (Computational fluid dynamics), що, на відміну від існуючих, дозволяє визначити характеристики газодинамічної системи з урахуванням джерел фазових і хімічних перетворень в багатокomпонентній домішці, моделювати такі явища як розсіювання небезпечних домішок в тривимірному просторі і часі, пожежі, вибухи, випаровування, конденсацію. Завдяки CFD моделюванню є можливість врахувати вплив складності забудов та рельєфу місцевості.

13. Удосконалено метод корегування техногенного ризику, в якому враховується зв'язок надійності і ефективності систем керування та захисту техногенних об'єктів, можливих негативних наслідків аварій, попереджувальних заходів до них, економічних можливостей сталого розвитку з урахуванням відновлювальних можливостей та виробітки критеріїв прийнятного ризику.

14. Запропоновано методи підготовки і структуризації необхідних вихідних даних для моделювання небезпечних процесів, методи визначення коефіцієнтів поразок людей і визначення стійкості об'єктів до ударно-хвильовому впливу, моделювання формування небезпечного середовища і отримання вхідних характеристик розвитку аварійних процесів.

15. Удосконалено методи SIL-аналізу (Safety Integrity Level) при розробці вимог до електронних, електричних та програмованих засобів, що дозволяє розробити вимоги до рівня надійності окремих елементів та блоків автоматизованих систем управління на ОПН.

16. Удосконалені методи моніторингу та реагування на надзвичайні ситуації при транспортуванні небезпечних речовин. Розроблено засоби підтримки безпеки переміщення небезпечних вантажів, що впроваджена в програмно-апаратному комплексі.

17. Запропоновано сучасні методи використання інформаційної технології при проведенні RBI-аналізу з метою прийняття рішення щодо ремонтно-відновлювальних робіт та моніторингу поточного стану обладнання.

18. Проведено апробацію результатів дисертаційного дослідження проведена при виконанні множинних робіт з оцінкою ризику різної спрямованості: проведенні експертиз, передстрахового аудиту, розробці декларацій безпеки, проведенні SIL і RBI аналізу, організації систем управління безпекою виробництва та ін. В результаті виконання робіт отримані рішення, що дозволяють істотно скоротити виробничі витрати на безпечне ведення технологічних процесів при посиленні рівня надійності підприємства.

19. В результаті проведених досліджень були розроблені програмні засоби автоматизованої інформаційно-аналітичної системи оцінки рівня ризику, безпеки та надійності об'єктів підвищеної безпеки, яка дозволяє провести повне обстеження існуючих об'єктів, об'єктів, що проектуються, об'єктів, які підлягають консервації або знаходяться в стані ліквідації, як на стадії створення звіту і прийняття рішень, так і при експертизах аварій і катастроф.

20. Розроблено комплекс програм для підтримки прийняття рішень при визначенні стратегії приведення техногенного ризику до прийнятного, який реалізує запропонований в роботі підхід до моделювання небезпечних наслідків аварій. Використання програмного комплексу дозволило виконати ряд робіт при розробці декларації безпеки, експертизах безпеки підприємств та інших.

21. Створено бази даних небезпечних властивостей речовин відповідно до вимог Seveso III, надійності технологічних елементів, засновані на обробці інформації «напрацювання на відмову» для діючих виробництв.

22. Апробація методів, моделей і програмних засобів запропонованої інформаційної технології дозволяє зробити висновок про те, що мета роботи, яка полягає в зниженні техногенного ризику об'єктів підвищеної безпеки в масштабах промислового регіону шляхом розробки та впровадження інтеграційних моделей, методів і інформаційних технологій та на їх основі системи підтримки прийняття рішень, що дозволяють накопичувати, переробляти, аналізувати показники безпеки та підтримувати процеси прогнозування й управління ризиками техногенної безпеки, досягнута.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### Публікації в наукових фахових виданнях України

1. Лыфарь В.А. Информационная модель для оценки уровней техногенного риска / В.А. Лыфарь, А. И. Рязанцев, С. Н. Ганжа // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2007. – № 11 (117). Частина 2. – С. 116-122.

*Здобувачем запропонована модель оцінки рівней техногенного ризику. Запропоновано визначення умовного та безумовного територіального та індивідуального ризику та програмні засоби їх реалізації.*

2. Лыфарь В.А. Моделирование испарения с поверхности пролива и при перегреве жидкостей в случае возникновения промышленных аварий / А. И. Рязанцев, В.А. Лыфарь, В.Г. Иванов // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2007. – № 11 (117), Частина 2. – С. 272-280.

*Здобувачем запропонована модель оцінки впливу випарування небезпечних речовин при аварійному розливі. Запропоновано засоби формування вхідних даних, область застосування та визначення моделі та програмні засоби для моделювання.*

3. Лыфарь В.А. Моделирование сложных технологических процессов / В.А. Лыфарь // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2008. – № 12 (130), Частина 1. – С. 31-37.

4. Лыфарь В.А. Аппроксимация переходных процессов элементов технологических систем / В.А. Лыфарь, А.А. Куценко // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2009, – № 6 (136), Частина 1 – С. 317-320.

*Здобувачем запропоновано метод апроксимації та обробки даних деяких перехідних процесів інерційних хіміко-технологічних систем, що отримані експериментальним шляхом.*

5. Лыфарь В. А. Метод и автоматизированная система оценки пожарного риска зданий / В. А. Лыфарь, М. Л. Угрюмов, Ю. А. Скоб // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: УГЗУ, – 2009. – Вып. 26. – С. 71-77.

*Здобувачем запропоновано метод та описана автоматизована комп'ютерна система оцінки основних показників ризику пожежонебезпечних будівель та споруджень.*

6. Лыфарь В.А. Методы определения показателей прогноза в информационной технологии поддержки действий диспетчера предприятия / В.А. Лыфарь, С.А. Сафонова // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. – 2009. – № 12(142). – С. 82 – 86.

7. Лыфарь В.А. Автоматизированная система поддержки принятия решений диспетчером предприятия в условиях техногенных аварий / В.А. Лыфарь, С.А. Сафонова // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. – 2010. – № 9(151). – С. 179 – 184.

*Здобувачем запропонована автоматизована система підтримки прийняття рішень диспетчером підприємства при виникненні аварій.*

8. Лыфарь В.А. Модели и методы прогноза последствий аварий в информационной технологии поддержки действий диспетчера предприятия / В.А. Лыфарь, С.А. Сафонова // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. – 2010. – № 6(148). – С. 98 – 104.

*Здобувачем запропоновано деякі моделі і методи прогнозу наслідків промислових аварій.*

9. Лыфарь В.А. Модель информационного обмена в системе принятия решений диспетчером в условиях аварии / В.А. Лыфарь, С.А. Сафонова // Вісник національного технічного університету «ХП». – 2010. – № 57. – С. 168 – 173.

*Здобувачем запропоновані інформаційні технології та програмно-апаратний комплекс підтримки дій диспетчера в аварійних ситуаціях.*

10. Лыфарь В. А. Управление безопасностью промышленных объектов / В. А. Лыфарь, В. Витт, А. И. Рязанцев // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. – 2011. – № 10(164). – С. 156 – 160.

*Здобувачем розглядається підхід до управління техногенною безпекою за рахунок оптимізації прийняття рішень в галузі техногенної безпеки.*

11. Лыфарь В. А. Метод оптимизации выбора средств защиты и управления объектов повышенной опасности / В.А. Лыфарь // Вісник

Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. – 2011. – № 15(169). – С. 163 – 166.

12. Лыфарь В. А. Методы определения входных данных опасных свойств веществ / В.А. Лыфарь // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. – 2012. – № 17(188). – С. 148 – 153.

13. Лыфарь В.А. Метод и модель определения параметров воздействия осколков при взрывах / В.А. Лыфарь, С.А. Вамболь, М.Л. Угрюмов // Проблемы чрезвычайных ситуаций: Сб. научн. тр. – Харьков: НУГЗУ, 2012. – Вып. 16. – С. 59 - 64.

*Здобувачем запропоновано метод визначення негативного впливу уламків, що виникають при вибухах і розрахункова модель, що дозволяє врахувати ймовірність виникнення ефекту «доміно».*

14. Скоб Ю. А. Моделирование рассеяния газа в вентилируемом помещении / Ю.А. Скоб, С.А. Вамболь, М.Л. Угрюмов, Э.А. Грановский, В.А. Лыфарь // Проблемы чрезвычайных ситуаций: Сб. научн. тр. - Харьков: НУГЗУ, 2013. - Вып. 17. - С. 184 - 197.

*Здобувачем запропоновано метод розрахунку показників розповсюдження небезпечного домішку в вентиляруемому приміщенні, що дозволяє врахувати ймовірність аварії.*

15. Лифар В.О. Математичний метод ідентифікації електричних імпульсів при корозійно-механічному руйнуванні обладнання / В.О. Лифар, Д. О. Ковальов // Металознавство та термічна обробка металів – 2013. – №4(63) – С. 69-74.

*Здобувачем запропоновано метод визначення кількісних показників процесу руйнування структури металу при експериментальному дослідженні електрохімічної корозії.*

16. Лыфарь В. А. Метод определения показателей надежности работы химического оборудования, подверженного коррозии / В.А. Лыфарь // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. – 2013. - № 14(203). – С. 121 – 124.

17. Скоб Ю.А. Метод расчета тепловых нагрузок в пространстве от излучения пламени произвольной формы / Ю.А. Скоб, С.А. Вамболь, В.А.Лыфарь, М.Л. Угрюмов // Проблемы пожарной безопасности: Сб. научн. тр. - Харьков: НУГЗУ, 2014. - Вып. 35. - С. 194 - 200.

*Здобувачем запропоновано модель і метод розрахунку теплового навантаження, що формується пламенами довільної форми.*

18. Лифар В.О. Інформаційне забезпечення системи управління техногенним ризиком / В.О. Лифар // Наукові праці [Чорноморського державного університету ім. Петра Могили]. Сер.: Комп'ютерні технології. – Миколаїв, 2016. – Т. 283, Вип. 271. - С. 94 - 115.

**Публікації в наукових виданнях інших держав та у фахових виданнях України, що включені до міжнародних наукометричних баз**

19. Volodymyr Lyfar: Database of hazardous substances properties. ТЕКА, Commission of Motorization and Energetics in Agriculture: Polish Academy of sciences. – Lublin-Lugansk 2012. – Volume 12 No 3, 5 p. (включено до Index Copernicus)

20. Архипов О. Г. Моніторинг корозійно-механічного руйнування обладнання імпульсно-електрохімічним методом / О.Г. Архипов, М.С. Хома, В.О. Лифар, Д.О. Ковальов // Фізико-хімічна механіка матеріалів: 2014. – Т. 50, №2. - С. 104 - 109. (включено до SciVerse Scopus. *Print ISSN: 0430-6252*)

*Здобувачем розроблено математичну модель та метод визначення ймовірності руйнування обладнання в залежності від показників електрохімічної корозії, що визначаються імпульсним контролем.*

21. Архипов О. Г. Визначення залишкового ресурсу обладнання імпульсним способом шляхом приведення градієнта функції різниці потенціалів до нуля / О.Г. Архипов, М.С. Хома, В.О. Лифар, В.О. Ковальов // Special Issue of Journal "Physicochemical Mechanics of Materials". – № 10. – Lviv: Karpenko Physico-Mechanical Institute, 2014. – V. 2. – 473 - 477 p.. (включено до міжнародної наукометричної бази SciVerse Scopus *Print ISSN: 0430-6252*)

*Здобувачем запропоновано метод та математична модель визначення залишкового ресурсу обладнання на основі обробки даних моніторингу електрохімічної корозії.*

22. Лифарь В. А. Разработка метода оптимизации проведения ремонтно-восстановительных работ с учетом показателей риска / В. А. Лыфарь, С. А. Сафонова, В. Г. Иванов // Технологический аудит и резервы производства. – 2015. – № 2/2(22) – С. 11-17. (включено до Index Copernicus, Ulrich's Periodicals Directory, Bielefeld Academic Search Engine (BASE), РИНЦ, ResearchBib, DOAJ, EBSCO)

*Здобувачем розроблені методи збору і обробки інформації, визначення залишкового ресурсу, планування ремонтно-відновлювальних робіт шляхом оптимізації прийняття рішень на основі критеріїв прийняттого ризику і рівня надійності технологічного обладнання.*

23. Volodymyr Lyfar: The information model of technogenic risk management. ТЕКА, Commission of Motorization and Energetics in Agriculture: Polish Academy of sciences. – Lublin-Lugansk 2016. – Volume 12 No 3, 6 p. (включено до Index Copernicus)

### **Патенти**

24. Електрохімічний імпульсний спосіб корозійного моніторингу: Патент № 85024, G 01 N 3/32 (2006.01) / О.Г. Архипов, М. С. Хома, В. О. Лифар, Д. О. Ковальов (UA). - №4351174/26; Заявлено 19.04.2013; Опубл. 11.11.2013; Бюл. № 21. – 8 с.

*Здобувачем запропоновано корисну модель, що може бути використана в промисловості для моніторингу стану обладнання, що піддається впливу електрохімічної корозії.*

### Тези доповідей у матеріалах конференцій

25. Granovskiyy E.A. Computational modeling of pressure effects from hydrogen explosions / E.A. Granovskiyy, V.A. Lifar, Yu.A. Skob, M.L. Ugryumov, // Abstracts Book and CD–ROM Proceedings of the 2 International Conference on Hydrogen Safety. – San Sebastian (Spain). – 2007. – 15 p. (ICHS Paper No. 13).

*Здобувачем розроблено математичну модель та метод розрахунків показників розповсюдження та вибуху домішки водню в атмосфері.*

26. Грановский Э.А. Моделирование случайных и детерминированных процессов возникновения и развития техногенных аварий с использованием программного комплекса "ризекс-2". / Э.А. Грановский, В.А. Лыфарь, А.П. Ворона // Моделирование и Анализ Безопасности и Риска в Сложных Системах: Труды Международной Научной Школы МА БР - 2007 (Россия, Санкт-Петербург, 4 - 8 сентября, 2007 г.) / СПб, ГУАП, 2007, - 540 стр.

*Здобувачем розроблена інформаційна модель та програмний комплекс «Ризекс-2» що дозволяє моделювати процеси виникнення та розвитку аварій на підприємстві та визначати основні показники небезпеки.*

27. Skob Yu.A. Numerical Modeling of Hydrogen Deflagration Dynamics in Enclosed Space / Yu.A. Skob, M.L. Ugryumov, K.P. Korobchynskiy, V.V. Shentsov, E.A. Granovskiyy, V.A. Lyfar, // Abstracts Book and CD–ROM Proceedings of the 3-rd International Conference on Hydrogen Safety. – Ajaccio (France). – 2009. – 12 p. (ICHS Paper No. 182).

*Здобувачем запропоновано чисельні методи розрахунку показників динамічної моделі розповсюдження та вибуху водневих домішок.*

28. Лыфарь В.А. Метод определения показателей риска при пожаре в зданиях / Э.А. Грановский, В.А. Лыфарь // Матеріали 11-й Всеукраїнської наук.-практ. конф. «Організація управління в надзвичайних ситуаціях». Київ: ІДУЦЗУ УЦЗУ, 2009. – 385 с.

*Здобувачем запропоновано метод визначення показників ризику при пожежі в будівлях.*

29. Лифар В.О. Ранжирування технічного персоналу по рівню знань за допомогою інтерактивної навчальної системи / В.О. Лифар, В.М. Барбарук // Матеріали V міжнародної конференції «Стратегія якості у промисловості і освіті»: у 2 т., Дніпропетровськ – Варна – 2009, т.2. с. 595-598

*Здобувачем запропоновано методи підвищення рівня знань технічного персоналу небезпечного виробництва.*

30. Лыфарь В.А. Информационная поддержка действий диспетчера опасного производства / В.А. Лыфарь, С.А. Сафонова // VI Международная конференция «Стратегия качества в промышленности и образовании», Технический университет-Варна, Болгария, июнь 2010. – С. 559–561.

*Здобувачем запропонована інформаційна модель та метод підтримки прийняття рішень диспетчером підприємства в умовах аварії.*

31. Skob Yu.A. Effectiveness Evaluation of Facilities Protecting from Hydrogen-air Explosion Overpressure / Yu.A. Skob, M.L. Ugryumov, E.A. Granovskiyy, V.A. Lyfar // Book of Abstracts and CD–ROM Proceedings of the 4-rd International

Conference on Hydrogen Safety. – San Francisco (CA USA). – 2011. – 11 p. (ICHS Paper No. ID 179)

*Здобувачем запропоновано моделювання класу CFD за для визначення вибухових характеристик воднево-повітряних сумішей.*

32. Бегун В.В Модернізація державного управління безпекою – необхідна умова розвитку суспільства / В.В. Бегун, В.О. Лифар // Матеріали щорічної Всеукраїнської наук.-практ. конф. за міжнародною участю «Модернізація державного управління та європейська інтеграція України». Київ: НАДУ при Президентіві України, 2013. – С. 94.

*Здобувачем запропоновані інформаційна технологія управління техногенним ризиком на державному рівні.*

33. Скоб Ю.А. Определение геометрии пламени и алгоритм определения тепловой нагрузки в точке пространства // Ю.А. Скоб, М.Л. Угрюмов, С.А.Вамболь, В.А. Лыфарь / Прикладні аспекти техногенно-екологічної безпеки: збірник тез Всеукраїнської науково-практичної конференції / Національний університет цивільного захисту України. – Харків: НУЦЗУ, 2013.– с.8-10.

*Здобувачем запропоновано метод визначення теплового навантаження в просторі пожежі.*

34. Лыфарь В.А. Информационная технология поддержки принятия решений при управлении техногенным риском / В.А. Лыфарь // Theoretical and Applied Computer Science and Information Technology: Proceedings of the 1st International Conference TACSIT-2015. – Severodonetsk: East Ukrainian National University, 2015. – P. 26-30 .

35. Лифар В.О. Моделі, методи та інформаційні технології управління техногенним ризиком об'єктів підвищеної безпеки / В.О. Лифар // Міжнародна науково-практична конференція «Ольвійський форум – 2016: стратегії країн Причорноморського регіону в політичному просторі». – Том 5, Інформаційні технології у розвитку суспільства. – Миколаїв: Вид-во ЧДУ мі. Петра Могили, 2016. – P. 24-26 .

## АНОТАЦІЯ

**Лифар В. О. Моделі, методи та інформаційні технології оцінки техногенного ризику об'єктів підвищеної безпеки – Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 - інформаційні технології. – Чорноморський національний університет імені Петра Могили, Миколаїв, 2017.

Дисертація присвячена вирішенню важливої науково-практичної проблеми оцінки ризику об'єктів підвищеної безпеки за рахунок використання інформаційних технологій. Проведено комплексний аналіз сучасного стану забезпеченості промислових об'єктів, експертів, наглядових державних органів засобами інформаційної підтримки прийняття рішень в галузі техногенної безпеки. Сформована сучасна база теоретичних засад з формування підходу до визначення основних показників техногенного ризику підприємств, пошуку рішень, які потрібні для підтримки прийнятного рівня ризику. Розроблено багаторівневий підхід до моделювання можливих аварійних подій та визначення їх наслідків і



автоматизації комплексної стратегії корегування ризику. Отримали подальший розвиток методи та моделі, що дозволяють підтримку прийняття рішень в умовах невизначеності. Удосконалено метод оцінки техногенного ризику, в якому враховується зв'язок надійності та ефективності систем керування та захисту техногенних об'єктів, можливих негативних наслідків аварій, попереджувальних заходів до них, економічних можливостей сталого розвитку з урахуванням відновлювальних можливостей та виробітки заходів безпеки необхідного рівня.

Запропоновано методи отримання кількісних показників ризику для основних небезпечних фізичних процесів, що виникають при аваріях і становлять загрозу ураження людей і руйнування об'єктів життєдіяльності. Розроблено методи представлення просторової інформації з використанням ГІС технологій, а також просторово-часових даних в єдиному форматі, що дозволяє використовувати методи оцінки ризику в багатьох сферах техногенної галузі, а також в системах підтримки безпеки при транспортуванні небезпечних вантажів.

Удосконалені методи проведення SIL аналізу для вироблення вимог за рівнем надійності до програмованим, електронним і електричним засобам систем управління і перетворення інформації. Запропоновано сучасні методи використання інформаційної технології при проведенні RBI-аналізу з метою прийняття рішення щодо ремонтно-відновлювальних робіт та моніторингу поточного стану обладнання.

Апробація результатів дисертаційного дослідження проведена при виконанні множинних робіт з оцінкою ризику різної спрямованості: проведенні експертиз, передстрахового аудиту, розробці декларацій безпеки, проведенні SIL і RBI аналізу, організації систем управління безпекою виробництв та ін. В результаті виконання робіт отримані рішення, що дозволяють істотно скоротити виробничі витрати на безпечне ведення технологічних процесів при посиленні рівня надійності підприємства.

В результаті проведених досліджень були розроблені програмні засоби автоматизованої інформаційно-аналітичної системи оцінки рівня ризику, безпеки та надійності об'єктів підвищеної безпеки, яка дозволяє провести повне обстеження існуючих об'єктів, об'єктів, що проєктуються, об'єктів, які підлягають консервації або знаходяться в стані ліквідації, як на стадії створення звіту і прийняття рішень, так і при експертизах аварій і катастроф.

Розроблено комплекс програм для підтримки прийняття рішень при визначенні стратегії впливу на техногенний ризик, який реалізує запропонований в роботі підхід до моделювання небезпечних наслідків аварій з урахуванням стохастичних параметрів складних технологічних систем з переробкою інформації для прийняття рішень щодо досягнення прийнятного ризику і розробки заходів, які йому відповідають. Використання програмного комплексу дозволило виконати ряд робіт при розробці декларації безпеки, експертизах безпеки підприємств та інших.

Створено бази даних небезпечних властивостей речовин відповідно до вимог Seveso III, надійності технологічних елементів, засновані на обробці інформації напрацювання на відмову для діючих виробництв.

Основні результати роботи знайшли практичне застосування на підприємствах, в наукових дослідженнях і навчальному процесі. Розроблені методи та програмні засоби мають подальший розвиток.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** підтримка прийняття рішень, інформаційні технології, техногенна безпека, ризик, аналіз даних, метод, модель.

## **АННОТАЦІЯ**

**Лыфарь В. А. Модели, методы и информационные технологии оценки техногенного риска объектов повышенной опасности.** – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.06 – информационные технологии. – Черноморский национальный университет имени Петра Могилы, Николаев, 2017.

Диссертация посвящена решению проблемы оценки техногенного риска объектов повышенной опасности за счет использования информационных технологий, моделей и методов поддержки принятия решений. В работе проведен комплексный анализ современного состояния обеспеченности промышленных объектов, экспертов, надзорных государственных органов средствами информационной поддержки принятия решений в области техногенной безопасности. Сформирована современная база теоретических основ для определения основных показателей техногенного риска предприятий и факторов, влияющих на него, поиска решений, необходимых для поддержания приемлемого уровня риска. Разработаны многоуровневый подход к моделированию возможных аварийных событий, определения их последствий и автоматизации процессов оценки и анализа риска с целью выработки решений по обеспечению приемлемого уровня безопасности. Получили дальнейшее развитие методы и модели, которые позволяют осуществить поддержку принятия решения в условиях неопределенности. Усовершенствованы методы и модели оценки техногенного риска в котором учитывается связь надежности и эффективности систем управления и защиты техногенных объектов, возможности негативных последствий, предупреждающих мер, экономических возможностей обеспечения устойчивого развития в учетом восстановительных возможностей и разработки мер безопасности необходимого уровня. Основные результаты работы нашли практическое применение на предприятиях, в научных исследованиях и учебном процессе.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** поддержка принятия решений, информационные технологии, техногенная безопасность, риск, анализ данных, метод, модель.

## **ABSTRACT**

**Lyfar V. O. The models, methods and information technology of technical risk assessment** – The Manuscript.

Thesis for attainment the Doctor of Engineering on specialty 05.13.06 - Information Technology. – Petro Mohyla Black Sea National University, Mykolayiv, 2017.

Dissertation is devoted to solving the problem of risk management the objects of major hazard by the use of information technologies, models and methods of decision solutions. The paper conducted a comprehensive analysis of the current state of information support of decision-making in the field of technological safety of industrial facilities, experts, government oversight bodies automated means.

Formed modern base of theoretical bases for determining the basic parameters of technical risk of enterprises and the factors affecting it, the search for solutions required to maintain an acceptable level of risk.

Developed a multi-level approach to the modeling of possible emergency events, determine their effects and automation integrated risk management strategy.

Further developed methods and models that allow the support of decision-making under uncertainty.

Improved methods and technological risk management model that takes into account the connection reliability and effectiveness of the control systems and the protection of technogenic objects, the possibility of negative consequences, preventive measures, economic opportunities for sustainable development in view of reducing capacity and the development of safety measures required level.

The main results of the work have found practical application in enterprises, research and educational process.

**KEYWORDS:** decision support, information technology, technogenic security, risk, data analysis, method, model.

Підписано до друку 24.04.2017 р.  
Гарнітура «Таймс». Друк цифровий.  
Умов. друк. арк. 1,9  
Замовлення № 02/03  
Тираж 120 прим.

Надруковано з готових оригінал-макетів у ПП ВКП «ПЕТП»  
Код ЄДРПОУ 33394211  
Свідоцтво № 000647 від 25.02.2011 р.  
63408, м. Северодонецьк, вул. Федоренко, 10