

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

На правах рукопису

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

ДИСЕРТАЦІЯ

на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

Науковий консультант

доктор технічних наук, професор

Рязанцев Олександр Іванович,

Проректор з науково-педагогічної роботи

і міжнародної діяльності

Східноукраїнського національного

університету ім. В. Даля

Сєвєродонецьк – 2017

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ І ТЕХНОЛОГІЙ ОЦІНКИ РИЗИКУ ОБ'ЄКТІВ ПІДВИЩЕНОЇ НЕБЕЗПЕКИ	21
1.1 Теоретико-методичні аспекти сучасної концепції техногенної безпеки.....	21
1.2 Інформаційні технології оцінки рівня небезпеки і техногенного ризиків об'єктів підвищеної небезпеки	34
1.3 Вимоги до моделювання при оцінці техногенного ризику	44
1.4 Галузь застосування оцінки техногенного ризику	46
1.4.1 Декларування і обґрунтування безпеки промислових об'єктів	47
1.4.2 Система управління промисловою безпекою	48
1.4.3 Методи організації ремонтно-відновлювальних робіт підприємств за принципом «ремонт за станом»	50
1.4.4 Організаційні та економічні методи регулювання рівня техногенної безпеки	52
1.5 Організація обчислювальних ресурсів і документообігу в інформаційних системах забезпечення промислової безпеки.....	55
Висновки до розділу 1	61
РАЗДЕЛ 2 МЕТОДИ І МОДЕЛІ ОЦІНКИ ІНТЕГРАЛЬНОГО РИЗИКУ	63
2.1 Загальні положення та концептуальна постановка.	63
2.2 Інформаційна модель оцінки техногенного ризику	74
2.2.1 Математична модель оцінки техногенного ризику.....	78
2.2.2 Структурна модель оцінки техногенного ризику.....	83
2.2.3 Структурна інформаційна модель моніторингу ризику	86
2.3 Модель процесу підтримки прийняття рішень	96
Висновки по розділу 2	99
РОЗДІЛ 3 МЕТОДИ І МОДЕЛІ ОЦІНКИ РІВНІВ БЕЗПЕКИ І НАДІЙНОСТІ ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТІВ.....	101

3.1 Основні положення і методи оцінки техногенного ризику	102
3.2 Імітаційно-подієве моделювання небезпечних техногенних процесів на базі аналізу відмов.....	113
3.3 Оцінка ефективності та надійності засобів протиаварійного захисту і засобів подвійного призначення на базі аналізу подій	118
Висновки по розділу 3	124
РОЗДІЛ 4 МОДЕЛІ І МЕТОДИ ОЦІНКИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ І НАСЛІДКІВ АВАРІЙ ОБ'ЄКТІВ ПІДВИЩЕНОЇ НЕБЕЗПЕКИ.....	126
4.1 Моделювання небезпечних аварійних процесів і методи отримання основних кількісних показників безпеки.....	127
4.1.1 Визначення кількісних показників ризику	131
4.1.2 Підготовка вхідних даних. Отримання необхідної інформації	147
4.1.3 Визначення коефіцієнтів уражень і дані стійкості об'єктів	152
4.1.4 Моделювання вхідних параметрів розвитку аварій.....	158
4.2 Методи представлення інформації з використанням ГІС технологій. Облік просторово-часових характеристик аварійних процесів	164
4.3 Методи визначення збитку від аварій.....	168
4.4 Метод аналізу показників ризику для обґрунтування прийняття рішень по досягненню прийнятного ризику	170
4.4.1 Проведення SIL аналізу і методи оптимізації вироблення вимог надійності до АСУ.....	173
4.4.2 Оцінка надійності елементів ОПН.....	177
Висновки по розділу 4	188
РОЗДІЛ 5 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В ГАЛУЗІ ПРОМИСЛОВОЇ БЕЗПЕКИ	190
5.1 Програмні засоби інформаційної технології підтримки прийняття рішень з досягнення прийнятного ризику	191

5.2 Програмно-апаратні засоби інформаційної технології підтримки безпеки переміщення небезпечних вантажів	200
5.3 Методи використання інформаційної технології оцінки техногенного ризику на об'єктовому і державному рівнях.	204
5.4 Організаційні та економічні методи регулювання рівня техногенного ризику	208
Висновки по розділу 5	217
ВИСНОВКИ.....	219
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	225
ДОДАТОК А. ДЕЯКІ ТЕРМІНИ, ВИЗНАЧЕННЯ І ПРИКЛАДИ В ГАЛУЗІ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОГЕННОЮ БЕЗПЕКОЮ.....	252
ДОДАТОК Б. МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ОБЛАДНАННЯ	266
ДОДАТОК В. ПРИКЛАД МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ ШКОДИ ПРИ АВАРІЯХ	273
ДОДАТОК Д. ПРИКЛАД АНАЛІЗУ ДЕРЕВА ВІДМОВ.....	277
ДОДАТОК Е. ПРИКЛАД ОБЧИСЛЕНЬ ВХІДНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АВАРІЙНИХ ПРОЦЕСІВ.	284
ДОДАТОК Ж. ПРЕДСТАВЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНОГЕННОГО РИЗИКУ.	289
ДОДАТОК З. АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ.....	302

ВСТУП

Зростання техногенного навантаження на суспільство, викликаний істотним ускладненням технологічних процесів, збільшенням їх енергоємності та використанням 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 суспільства в умовах підвищення щільності техногенної загрози - управління ризиком із застосуванням правових, 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, технічні 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. Вони базуються на певних моделях і методах, але в силу багатомірності, багаторівневості і складності моделей об'єктів підвищеної небезпеки (ОПН) ще не відповідають сучасним умовам розвитку суспільства. Надзвичайно важливо прийняти адекватні рішення в галузі управління техногенним ризиком, які могли б привести його в межі прийняттого 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. [1;2;3;4], Бесчастнов М.В. [5;6;7], Бегун В.В. [8;9;10], Белов П.Г. [11;12;13;14], Болод'ян И.А. [15;16], Брушлинский Н.Н. [17;18],

Владимиров В. А. [19;20], Гельфанд Б. Е. [21;22;23;24], Лисиченко Г. В. [25], Гражданкін А.И. [26;27;28;29;30;31], Єгоров А.Ф. [32], Едигаров А.С. [33;34], Єлохин А.Н. [35;36], Ізмалков В.І. [37;38], Кафаров В.В. [39;40;41], Легасов В.А. [42;43], Лісанов М.В. [44;45;46;47;48], Можаяев И.Л. [49], Махутов Н.А. [50;51], Мешалкин В.П. [52], Можаяев А.С.[53;54;55;56], Потехін Г.С. [57], Рябінін И.А. [58;59;60], Сильников М. В. [21;22;23], Тарасова Н.П. [61;62], Шебеко Ю.Н. [63], Ale B. J. [64], Griffiths R. F. [65], Brearley S. A. [66], Henley I.J. [67], Krishna S. [68], Kumamoto H. [67], Lees F.P. [70;71], Poblete B.R. [69], Marshall V. C. [72], Simpson G. B. [69], Ir. C.J.H. van den Bosch [73], Weterings R.A. [73], Puttock G.S. [74] та інших. Велика кількість робіт в галузі промислової безпеки, незважаючи на ефективність окремих методичних і науково-технічних розробок, тим не менш, не забезпечується досить ефективний рівень прийняття рішень на основі інтеграції існуючих та розробці нових 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. [173,174]. Такий рівень визначається «Законом України про об'єкти підвищеної небезпеки» [174], постановами Кабінету Міністрів України 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 методологічній та інформаційній платформах існуючі

методики, критерії та граничні вимоги, законодавчі акти, та нормативні документи в єдину структуру, на базі яких можливе створення замкнутої інформаційної технології, що гарантує прийняття рішення зрозумілим і оптимальним способом.

Європейський союз визначає такий підхід в директиві Seveso III [180] з контролю над діяльністю об'єктів підвищеної небезпеки 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 оцінки рівня техногенного ризику показав, що не тільки не в повній мірі вирішені питання розробки методик і моделей оцінки техногенного ризику й комплексного підходу до прийняття рішень на їх основі, а й практично немає єдиного підходу і технічних, організаційних та інформаційних засобів його забезпечення для досягнення прийняттого 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 вирішення перерахованих проблем оцінки 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 при-

йнятного ризику на основі оцінки рівня небезпеки, надійності й 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 щодо рівня техногенного ризику об'єктів підвищеної небезпеки, функціональна сутність якої 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. Сєвєродонецьку" № 0108U007618, 2008-2010 (автор розробив метод визначення просторового розподілу вірогідності забруднень від джерел викидів з урахуванням рози вітрів та моделювання розповсюдження небезпечних домішок 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 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 багатоцільових 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 безпеки 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 підвищене-

ної 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 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;

- 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 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 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 прийняттого рівня безпеки, промислових та інших техногенних об'єктів підвищеної небезпеки, що проектується, 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.

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 прийняттого ризику та розробки заходів, що йому відповідають. Викори-

стання програмного комплексу дозволило виконати ряд робіт при розробці декларації безпеки, експертизах небезпеки 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 діючих виробництв.

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. Виконані 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 технологічним ризиком на: Wiwasoft GmbH D-30165 Hannover HRB 201471 (акт впровадження від 2014 р.), ПрАТ «СНВО «Імпульс» (акт впровадження від 12.06.2016 р.), СНУ ім. В. Даля (акт впровадження від 19.10.2015р.) ПрАТ «Сєверодонецький ОРГХІМ» (акт впровадження від 15.08.2016 р.), ГУ ДСНС України в Луганській обл., ТОВ «Хімотехнологія» (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. Сєверодонецьк) 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», «Інте-

лектуальній аналіз даних», «Математичні методи дослідження операцій», «Методи та засоби комп'ютерних інформаційних технологій», а також використовуються при виконанні студентами дипломних і магістерських атестаційних робіт.

Апробація результатів роботи.

Основні результати дисертаційної роботи обговорювалися 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.); Матеріали щорічної Всеукраїнської наук.-практ. конф. за міжнародною участю «Модернізація державного управління та європейська інтеграція України». (Київ: НАДУ при Президентові України, 2013.);

Особистий внесок здобувача.

Всі наукові результати, представлені в дисертації, отримані безпосередньо здобувачем. У друкованих працях, опублікованих у співавторстві, персональну участь здобувача представлено наступними положеннями:

[75] – запропоновано модель оцінки рівня техногенного ризику. Запропоновано методи визначення умовного і безумовного територіального і індивідуального ризику і програмні засоби їх реалізації.

[76] – запропоновано модель оцінки впливу випаровування небезпечних речовин при аварійному розливі. Запропоновано засоби формування

вхідних даних небезпеки, галузь застосування і визначення моделей і програмні засоби для моделювання.

[77] – запропоновано засоби моделювання поведінки складних технологічних систем в критичних умовах.

[78] – запропоновано метод апроксимації і обробки даних деяких перехідних інерційних процесів в хіміко-технологічних системах, отриманих експериментальним шляхом.

[79] – розроблений метод і описана автоматизована комп'ютерна система оцінки основних показників ризику пожежонебезпечних будівель і споруд.

[80] – запропонована методика отримання параметрів прогнозу розвитку аварійної ситуації, пов'язаної з викидом парогазової фази в атмосферу з урахуванням умов викиду.

[81] – запропонована автоматизована система підтримки прийняття рішень диспетчером підприємства при виникненні аварій.

[82] – запропоновані моделі і методи прогнозу наслідків промислових аварій.

[83] – запропоновані технології і програмно-апаратний комплекс підтримки дій диспетчера в аварійних ситуаціях.

[84] – запропоновано підхід до корекції техногенного ризику шляхом оптимізації прийняття рішень в області техногенної безпеки.

[85] – запропоновано метод оптимального вибору засобів захисту, управління, виконавчих пристроїв за критеріями надійності і вартості.

[86] – запропоновано метод визначення необхідних характеристик властивостей речовин, які використовуються при моделюванні наслідків аварій на підприємствах підвищеної небезпеки.

[87] – запропоновано метод визначення негативного впливу уламків, що виникають при вибухах і розрахункова модель, що дозволяє обчислити вірогідність виникнення ефекту «доміно».

[88] – запропоновано метод розрахунку показників поширення небезпечної домішки в вентиляованому приміщенні, що дозволяє врахувати ймовірність аварії.

[89] – запропоновано метод визначення кількісних показників процесу руйнування структури металу апаратів при експериментальному дослідженні електрохімічної корозії.

[90] – запропоновано метод визначення кількісних показників надійності роботи хімічного обладнання з урахуванням корозії.

[91] – запропоновані модель і метод розрахунку теплового навантаження від пожеж довільної форми.

[92] – розроблена структура і зміст бази даних небезпечних властивостей речовин.

[93] – розроблено математичну модель і метод визначення ймовірності руйнувань обладнання в залежності від показників електрохімічної корозії, яка визначається імпульсним методом.

[94] – запропоновано метод і математичну модель визначення залишкового ресурсу устаткування на основі обробки даних моніторингу електрохімічної корозії.

[95] – розроблено методи збору та обробки інформації, визначення залишкового ресурсу, планування ремонтно-відновлювальних робіт шляхом оптимізації прийняття рішень на основі критеріїв прийнятного ризику і рівня надійності технологічного обладнання.

[96] – запропоновано корисну модель, яка може бути використана в промисловості для моніторингу стану обладнання, схильного до електрохімічної корозії.

[97] – розроблено математичну модель і метод розрахунку показників поширення та вибуху домішки водню в атмосфері.

[98] – розроблено інформаційну модель і програмний комплекс, який дозволяє моделювати процеси виникнення і розвитку аварій на підприємствах і визначити основні показники безпеки.

[99] – запропоновано чисельний метод розрахунку показників динамічної моделі поширення і вибуху домішок водню.

[100] – запропоновано метод визначення показників ризику при пожежах в будівлях.

[101] – запропоновані методи підвищення рівня знань технічного персоналу небезпечного виробництва.

[102] – запропоновано інформаційну модель і метод підтримки прийняття рішень диспетчером підприємства в умовах аварії.

[103] – запропонована модель класу CFD для визначення характеристик вибуху воднево-повітряних сумішей.

[104] – запропоновано інформаційну технологію оцінки техногенного ризику на державному та об'єктовому рівні.

[105] – запропоновано метод визначення теплового навантаження в просторі пожежі.

[106] – запропоновано інформаційну технологію оцінки техногенного ризику промислових об'єктів.

[107] – описано комплексні засоби і методи інформаційної технології коригування техногенного ризику об'єктів підвищеної небезпеки.

[108] – описано інформаційну модель коригування техногенного ризику.

[109] – представлено математичну модель і програмні засоби оцінки ризику об'єктів підвищеної небезпеки.

Публікації.

За темою дисертаційної роботи опубліковано 35 наукових праць в міжнародних і вітчизняних виданнях (з них 9 одноосібно), в тому числі 23 професійних публікацій, з яких 18 робіт в наукових виданнях України, 5 робіт у виданнях інших держав і в професійних виданнях України, включених 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.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ І ТЕХНОЛОГІЙ ОЦІНКИ РИЗИКУ ОБ'ЄКТІВ ПІДВИЩЕНОЇ НЕБЕЗПЕКИ

Наведено теоретико-методичні аспекти та концептуальні засади управління техногенною безпекою в контексті розробки і застосування інформаційних технологій при оцінці ризику. Представлені і проаналізовані існуючі інформаційні технології оцінки рівнів безпеки об'єктів підвищеної небезпеки (СПО), рекомендовані методи моделювання при визначенні показників техногенного ризику, організаційні, технологічні, економічні та інші методи впливу на рівень техногенного ризику. Розглянуто основні вимоги і проблеми забезпеченості інформаційного супроводу підтримки прийняття рішень при реалізації ризико-орієнтованого підходу до управління рівнем техногенної безпеки. Сформульовано проблеми, що вирішуються в процесі досліджень та визначено завдання досліджень і розробки технологій.

1.1 Теоретико-методичні аспекти сучасної концепції техногенної безпеки

Технології, що представляють потенційну небезпеку, присутні практично у всіх областях діяльності людини. Представлені нижче дані, методи, інформаційні засоби допомагають здійснити процес оцінки техногенного ризику в межах сфери застосування даної інформаційної технології.

Перш за все, необхідно уточнити поняття, оперуючи якими можна прийти до прийняття рішень в галузі техногенного ризику. Сам процес коригування ризику полягає в прийнятті організаційних, технічних, економічних рішень, що вироблені на основі аналізу небезпеки та ризику. Безумовно, основною метою такого процесу є мінімізація витрат на безпечне ведення технологічних операцій при дотриманні прийнятного рівня ризику.

Всі події, що визначають техногенний ризик, можна розділити на «неможливі», «достовірні» (неминучі), «стохастичні». До «неминучих» по-

дій в історичному сенсі можна віднести ті, що вже трапилися і відомі з досвіду. «Неможливі» можна розглядати теоретично з точки зору протилежності «неминучим». Події, що не виникли на даний момент, а саме такі і є предметом дослідження в даній роботі, складають практично все майбутнє суспільства. Всі ці події носять стохастичний характер і можуть проявлятися з певною ймовірністю.

Життєвий досвід і набуті знання підтверджують можливість моделювання деяких процесів на підставі відомих законів природи. Але всі вони мають межі пізнання, за якими проявляються події, що не піддаються точному опису і проявляються стохастичним чином. Це добре відомі нам випадковості.

Вчені давно оперують ймовірністю як цілком певним поняттям. Сучасна наука дозволяє за допомогою математичних методів і результатів експериментів, спостережень і обробки статистичних даних зробити процес прийняття рішень більш об'єктивним щодо стохастичних подій.

Існує думка, що найкращий спосіб уникнути небезпеки, це прокласти шлях до мети з використанням строгих правил, отриманих на гіркому досвіді, забезпечити їх жорстке виконання і таким способом «гарантувати» успіх. Не можна не погодитися з деякими положеннями такого підходу. Але в ньому закладена значна небезпека, здатна нівелювати всі позитивні сторони процесу нормування і контролю. Причина проста: дотримання правил також є випадковим.

Яким же чином планувати роботу, виробляти рішення для подій, які не трапилися, але мають можливість статися? Для початку потрібно визначити методи оцінки ризику, за допомогою яких об'єктивується процес його коригування. Необхідно визначити математичний апарат, за допомогою якого можливо реалізувати ці методи. Цей апарат заснований на елементах теорії подібності [110-112;220], теорії ймовірності [113], методах системного аналізу [112;114-117] із застосуванням елементів геоінформаційних моделей [118-128], теорії прийняття рішень [129-134]. Крім того, окремі моде-

лі і елементи інформаційної технології розробляються з застосуванням теорії графів, математичної логіки, методів оптимізації, логістики [136-148].

Для більш точного розуміння предметної сфери в додатку А наведені основні терміни та визначення.

Суб'єктами процесів техногенного ризику є учасники-антагоністи наступного тріумвірату: *власники об'єктів підвищеної небезпеки* → *органи держнагляду (представники державної влади)* → *місцева громада*. Безпосередньо носіями ризику є об'єкти підвищеної небезпеки (ОПН), а причетним до нього увесь тріумвірат. Антагонізм учасників виражається в відміностях деяких цільових функцій. Зокрема основною метою власників при експлуатації ОПН є отримання прибутку і мінімізація коштів, необхідних для прибуткової експлуатації ОПН, в той час як представники місцевої громади зацікавлені в першу чергу у власній безпеці і безпеці свого життя і майна, а представники держави, перш за все, зацікавлені в забезпеченні прав і свобод усіх сторін в рамках чинного законодавства і забезпеченні безпеки на рівні сталого розвитку суспільства.

Сам рівень техногенного ризику обумовлений як небезпечними речовинами, що обертаються в технології ОПН, так і надійністю та ефективністю технологічних елементів, включаючи людський фактор і стихійні лиха. Облік всіх факторів і їх взаємозв'язок можливий при добре поставленому системному аналізі складної хіміко-технологічної системи (СХТС) ОПН. При цьому повинні бути виявлені причинно-наслідкові зв'язки між усіма значущими впливами і їх наслідками аж до виникнення і розвитку аварій і реалізації негативних фізичних процесів, що призводять до втрат і руйнувань. До таких дій відносяться як деякі технологічні операції, так і явища природного характеру, зовнішні збурення (несанкціонований доступ, вплив зовнішніх загроз і т. ін.). Негативні наслідки, що лежать в основі ризику проявляються при аварійних процесах в результаті фізичних явищ, що призводять до руйнувань, уражень і іншим неприйнятним наслідкам. Дуже вдале визначення **аварії** дано Кумамото. Він визначає аварію як «завершення

процесу накопичення відмов (помилки)» [67]. При цьому комбінації відмов формують набори сценаріїв виникнення і розвитку аварій, які характеризуються стохастичними показниками.

Виявлення причинно-наслідкових зв'язків відноситься до аналізу небезпеки, який повинен виконуватися відповідно до певних правил і вимог.

Згідно з ІЕС 60300-3-9:1995 [149] встановлюються вимоги до обґрунтування і застосування методів аналізу ризику для оцінки ризику техногенних об'єктів. Таким чином, реалізується найважливіших елемент технології впливу на ризик відповідно до стандарту.

Завдання оцінки ризику полягає в здійсненні контролю експлуатаційної надійності, профілактиці або зменшення можливих уражень людей, зменшення ймовірності зростання хвороб, зниження можливих економічних втрат і руйнувань, а також зменшення екологічних ризиків. Крім цього, на основі оцінки та аналізу показників ризику можливе прийняття рішень, що оптимізує економічні витрати при управлінні ризиком.

Аналіз ризиків заснований на таких розділах науки як: системний аналіз; теорія ймовірності і статистика; прикладна математика; фізика; хімія; токсикологія; психологія і соціологія; юриспруденція; економіка; управління і ергономіка. Такий аналіз застосовується для хімічних виробництв, енергетики, медицини, транспорту, будівництва, ядерної техніки та ін.

Аналіз ризику є найважливішою частиною оцінки ризику і процесу впливу на ризик і складається з визначення області застосування, ідентифікації небезпеки та оцінки величини ризику, а також виділення причинно-наслідкових зв'язків потенційних аварій.

Небезпеки можуть бути віднесені до наступних чотирьох основних категорій: природні небезпеки; технічні небезпеки, джерелами яких є промислове обладнання, споруди, транспортні системи і т. п. ; соціальні небезпеки; небезпеки, пов'язані з укладом життя.

Класифікація і ранжування ризиків може спиратися на очікувані наслідки, такі як: індивідуальні (небезпека для особистості); професійні (небез-

пека для персоналу); соціальні (небезпека для соціуму і його стійкості); економічні (небезпека для бізнесу, економіки, управління та власності); екологічні (небезпека для довкілля та біорізноманіття).

Завданням аналізу ризиків в загальному випадку є обґрунтування рішень, спрямованих на зниження (якщо це необхідно і не більше, ніж це необхідно) ризику. Ці рішення можуть бути частиною більшого процесу управління за допомогою порівняння отриманих в результаті аналізу показників ризику до обраних критеріїв прийнятного ризику. У багатьох випадках важливо оцінювати переваги того чи іншого рішення з метою оптимізації. У більшості випадків вироблення критеріїв прийнятного ризику є складним завданням, особливо в галузі соціальної та економічної політики і прийнятті рішень у дозвільній системі. Однак ця процедура обов'язково повинна бути виконана на початковій стадії процесу коригування ризику, так як вона є основою для вироблення обмежувачів при прийнятті рішень.

Поняття прийнятності ризику на державному рівні вперше було введена в Нідерландах в законодавчому порядку. При цьому, в основу негативних наслідків приймається не матеріальний збиток, який настає в результаті реалізації загроз, а поразка людини, групи людей або деякої частини біогеонозу.

Голландський підхід набув широкого поширення в практичній діяльності щодо забезпечення безпеки та рівня ризику. Відповідно до цього підходу весь "спектр" значень ризику (індивідуального і соціального) розбивають на три області відповідно до так званого принципу "світлофора":

- неприпустимого (надмірного) ризику – "ЧЕРВОНА" частина;
- прийнятного ризику – "ЖОВТА" частина;
- нехтовно малого ризику – "ЗЕЛЕНА" частина.

Якщо величина досліджуваного ризику знаходиться "між двома зонами", які розмежовують зони прийнятного і неприпустимого ризику, то власникам небезпечних об'єктів розумно вживати заходів, які не перевищують за вартістю знижуваний рівень очікуваних втрат. Економічна виправданість

припустима лише для процесів і явищ, при яких забезпечена належна безпека життя людей. Такий принцип називають ALARA (або ALARP) (as low as reasonably applicable/practicable) – такий підхід до управління рівнем небезпеки і ризику, при якому допускають його максимально можливе зниження, що досягається за рахунок реальних (обмежених) ресурсів і не перевищує розумних вкладень і витрат при достатній їх ефективності.

Аналіз критеріїв ризику, що використовуються в Англії, Голландії, Угорщині та Чеській Республіці та ін. і порівняння основних показників, прийнятих в цих країнах представлено в табл. 1.1. При цьому, розуміють, що смертельне ураження, зумовлене видами небезпечного впливу є виключно неприпустимим. Під «індивідуальним ризиком», як правило, розуміють ймовірність загибелі для конкретного індивідуума [179].

Таблиця 1.1

Рівень індивідуального ризику (ймовірність ураження)	Великобританія	Нідерланди	Угорщина	Чехія
10^{-4}	Неприпустимий рівень для громадян (населення)			
10^{-5}	Ризик повинен бути знизений до рівня ALARP	Граничний рівень для діючих промислових установок. Застосовується принцип ALARA	Верхня межа	Граничний рівень для діючих промислових установок. Повинні здійснюватися заходи щодо зниження ризику
3×10^{-6}	Границя LUP-критерію, отримана шляхом перерахунку ризику отримання небезпечної дози рівній 3×10^{-7}			
10^{-6}	Суспільно прийнятний рівень ризику	Граничний рівень для нових промислових установок і єдиний граничний рівень після 2010 р. Застосовується принцип ALARA	Нижня межа	Граничний рівень для нових установок.
10^{-7}	Незначний (нехтовно малий) рівень ризику			
10^{-8}		незначний рівень ризику		

Дані, наведені в таблиці підтверджують, що в Європі індивідуальний ризик на рівні ймовірності поразки 10^{-5} в рік є верхньою допустимою межею

для працюючих небезпечних об'єктів. Одночасно, в Великобританії неприйнятний рівень становить ймовірність 10^{-4} в рік, однак застосування ALARP підходу суворо обов'язково, що призводить до того, що реальний рівень ризику значно менше гранично припустимого значення.

У 1991 році був встановлений верхній рівень максимально допустимого ризику з кількістю людей, що дорівнює 500 і частотою не більше ніж 0,0002 в рік. Однак таке уявлення підверглося критиці, та 2001 році запропоновано визначення, при якому ризик одиночній аварії, яка призводить до загибелі 50 і більше людей з частотою $1/5000$ на рік, розглядається як гранично неприпустимий.

Простір ймовірностей прийнятного рівня ризику суспільством запропоновано на рівні нижньої межі зі зрушенням на три порядки вниз по відношенню до верхньої межі гранично допустимого рівня ризику. Зазначені зміни верхнього (максимально допустимого) рівня ризику за двадцятирічний період досліджень представлено на рис. 1.1 [70,203].

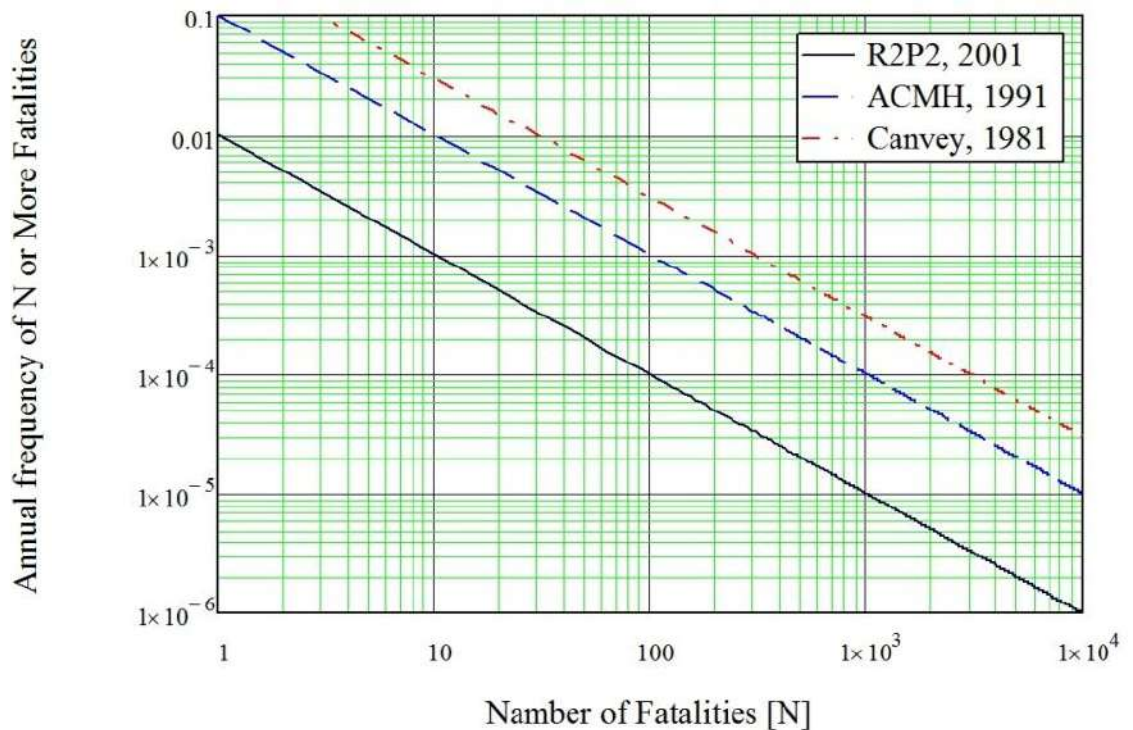


Рис. 1.1 Зміна гранично припустимого соціального ризику, прийняті в UK. Вісь X - число загиблих. Вісь Y - частота ситуацій з кількістю загиблих N і більше на рік

Порівняння представлених F-N кривих відображено на рис. 1.2 [70,203].

Важливо відзначити, що застарілий LUP-критерій в Англії і попередні і нові критерії в Голландії фактично збігаються, в той час як критерій, який використовується в Чеській республіці для оцінки ризику для нових об'єктів на порядок менше. Близькі кількісні показники критерію керівництва Англії щодо забезпечення рівня безпеки для катастрофічних аварій (COMAH - Control of major accident hazards).

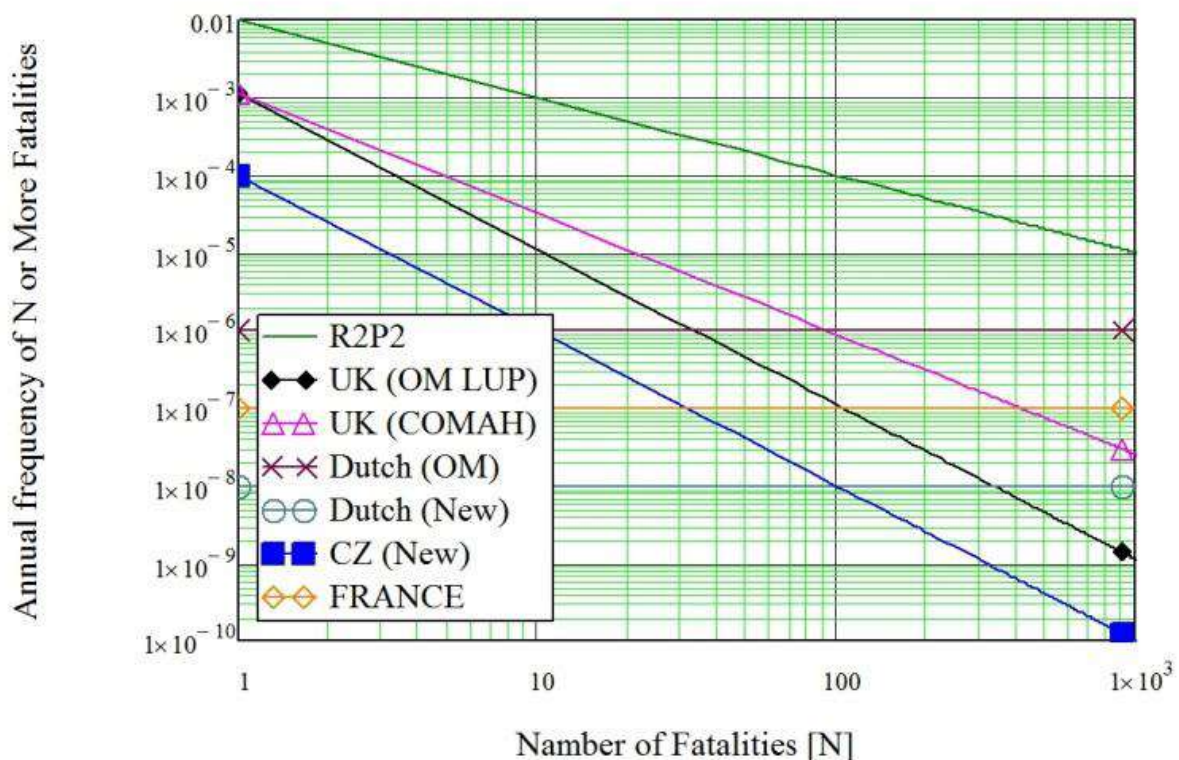


Рис. 1.2 Порівняння F-N критеріїв, використовуваних в країнах ЄС. Зіставлення F-N критеріїв, які прийняті до використання в ЄС. Пояснення: X - кількість загиблих. Y - частота з кількістю загиблих N і більше на рік

Межі припустимого індивідуального ризику, що виникає в результаті об'єднаного впливу різних джерел і чинників смерті для людей в результаті спільної дії забруднюючих речовин, радіаційного впливу та інших негатив-

них факторів в Голландії встановлений таким чином, що підсумковий ризик загибелі від всіх можливих засобів впливу не повинен бути більше, ніж 10^{-5} на рік. Одночасно з цим ризик ураження від кожного з типів негативного впливу не повинен бути більше, ніж 10^{-6} на рік.

Прийнятні критерії ризику можуть бути отримані і іншим способом. У будь-якому випадку логіка прийняття їх значень така: додатковий ризик, створюваний техногенним чинником повинен бути «невідчутний» в порівнянні з типовими побутовими ризиками, притаманними учасниками подій, що становлять основу ризику. Якщо додаткова складова ризику, пов'язана з техногенним чинником збільшує ризик в межах довірчого інтервалу побутового ризику або до рівня, прийнятного учасниками ризику (зазвичай близько 1%, як це було показано вище), то ризик можна прийняти.

Вкрай важливо ретельне вивчення властивостей аналізованого об'єкта і методів аналізу, які застосовуються. Потрібно обґрунтування і доказ того, що процеси є подібними, і що допустимі відхилення не вносять значних відмінностей в результати аналізу. Отримані висновки повинні бути математично засновані на систематичній оцінці змін (обробці статданих) і на уявленні про вплив змін на існуючі види небезпек.

Вимоги до компетентності аналітиків і експертів досить високі і учасники оцінки ризику повинні бути належним чином атестовані. Більшість СХТС досить складні для того, щоб з ними впорався один фахівець. У зв'язку з цим найчастіше потрібна організація тимчасового колективу фахівців в предметної і суміжних областях.

Ідентифікація небезпек, що призводять до подій ризику, а також сценарії їх виникнення і розвитку повинні лежати в основі опису завдань досягнення прийнятного ризику.

Якщо відомі небезпеки або аварії, що відбувалися раніше на аналогічних досліджуваного об'єктах, то вони повинні бути точно і зрозуміло описані і визначені. Якщо мова йде про небезпеки, які раніше не виявлялися або

невідомі досліднику, повинні застосовуватися методи на основі відомих законів формалізації.

При проведенні кількісної оцінки величини ризику або її якісних аналогів, необхідно враховувати, що розрахункові показники відносяться до оцінок і важливо подумати про те, щоб їх точність перебувала в межах заданої точності використовуваних вхідних даних і методів аналізу. Крім того, помилка при моделюванні або точність використання математичних методів повинна знаходитися в межах точності поставлених завдань для процесу підтримки прийняття рішень.

Для оцінки ймовірності всіх небажаних подій, які ідентифіковані на стадії попереднього аналізу небезпеки застосовуються методи частотного аналізу або дані, характерні для цих небезпек. При цьому застосовуються формалізовані методи.

Аналіз масштабів наслідків аварій лежить в основі оцінки можливого впливу на людей і об'єкти життєдіяльності (об'єкти турботи), природні об'єкти, що викликається небажаним явищем.

Аналіз масштабів наслідків повинен:

- 1) ґрунтуватися на небажаних подіях, які пройшли процедуру вибору;
- 2) описувати наслідки, які проявляються при реалізації небажаних подій;
- 3) враховувати спрямовані на пом'якшення наслідків заходи (пропонувані і які використовуються), спільно з усіма умовами, що впливають на потужність наслідків;
- 4) визначити критерії та їх значення, які застосовуються для максимальної ідентифікації можливих наслідків;
- 5) розглядати і враховувати як прямі наслідки, так і ті, котрі можуть проявлятися по закінченні деякого періоду часу, з урахуванням розумних обмежень у часі і просторі їх прояви;
- 6) враховувати наслідки крім первинних і непрямих, дія яких поширюється на сумісне обладнання, блоки, елементи і системи.

Невизначеності, пов'язані з оцінкою ризику виникають в основному через неможливість точного опису процесів досліджуваних систем. Розуміння причин і властивостей невизначеностей необхідно для забезпечення належного рівня ефективності при інтерпретації значень небезпек і їх наслідків. Аналіз невизначеностей повинен враховувати вплив змін і помилок в результатах моделювання, що є наслідком відхилень вхідних даних і які впливають на параметри і припущень, що застосовуються при моделюванні. При цьому під час аналізу впливу невизначеностей необхідно проводити аналіз чутливості, який передбачає визначення змін реакції модельованих процесів на відхилення окремих збурювальних впливів, врахованих в моделі.

Для представлення даних в інформаційних технологіях і формалізації процесу знань про рівень безпеки і надійності складної хіміко-технологічної системи (СХТС) об'єкта підвищеної безпеки (ОПН) необхідна структуризація даних у вигляді семантичних записів Природною Мовою (ПМ) за форматом «Якщо → То» . При цьому важливо об'єктивізувати подібні знання шляхом застосування деяких методологічних прийомів, пропонує в методах проведення аналізу ризику.

Вибір методів проведення аналізу зазвичай досить індивідуальний і реалізується в результаті досягнення консенсусу для експертів в області безпеки, надійності і технічної експлуатації ОПН. Цей вибір має бути зроблений на початкових етапах розробки планів досліджень і його необхідно досліджувати на збіжність і сферу застосування.

Для повного аналізу СХТС можливо доведеться застосовувати низку різних або порівнянних методів.

Дослідження безпеки і пов'язаних з нею проблем (HAZOP)

HAZOP - форма аналізу видів і наслідків відмов (FMEA - Failure modes and effects analysis). Він включає процедуру ідентифікації всіх можливих небезпечних проявів для всіх елементів досліджуваного об'єкта в цілому. Такий аналіз найбільш корисний при ідентифікації прихованих небез-

печних проявів, які замасковані недостатньо точною або повною інформацією про об'єкт, упущеної при розробці, або таких небезпек, які проявляються в технології працюючих об'єктів в результаті реалізації відхилень, не передбачених раніше і не проявляються в процесі роботи системи.

До основних завдань методу відносяться:

а) найбільш повний опис властивостей і процесів об'єкта, в якому враховуються можливі стани системи і її конструктивні особливості;

б) моніторинг всіх частин і блоків об'єкта або процесів, характерних для нього з метою виявлення прихованих небезпек, не передбачених при проектуванні або попередній експлуатації;

в) прийняття рішення про причини і можливості реалізації небезпек або інших проблем, які викликані розглянутими відхиленнями.

Найбільш раціонально проводити дослідження HAZOP на стадії створення робочої версії проекту. На цій стадії найбільш важливо застосувати способи виявлення та/або попередження небезпечних відмов (відхилень). Такі відхилення документально підтверджуються в робочих аркушах HAZOP, зразки яких наводяться в додатку А (табл. А.2, А.3).

Аналіз видів і наслідків відмов (FMEA) (IEC 60812:1985) [150, 151]

Метод, містить, в основному, якісний підхід (напівякісний), хоча деякі його частини можна представити і в кількісній формі. В цьому випадку систематично ідентифікуються наслідки окремих складових аварійних станів і їх наслідків. Це метод заснований на відповідях на питання «що буде, якщо...?». Такий метод найчастіше застосовується в аналізі АСУТП (автоматизованих систем управління технологічними процесами) і інших системах з заданою логікою дій. FMEA використовує підхід побудови причинно-наслідкових зв'язків за принципом «знизу - вгору» і розглядає наслідки аварійних станів об'єкта дослідження на підставі впливу «одного на один наслідок». Цей метод можна застосовувати для досить великої кількості даних і може проводитися фрагментарно, що значно спрощує аналіз для реалізації оцінки ризику. Головними недоліками методу є: надлишковий опис, немож-

ливість оцінити вплив ремонтно- відновлювальних робіт, концентрація на відмовах виділеного компонента системи.

Більш детально FMEA і FMESA представлені в стандартах ІЕС 60812.

Попередній аналіз небезпеки (РНА - process hazard analysis)

РНА являє собою простий індуктивний метод, основним завданням якого є ідентифікація небезпек, ситуацій і подій, що завдають шкоди при експлуатації ОПН, як досліджуваної СХТС, так і інших об'єктів. Цей вид аналізу може проводитися індивідуально і найбільш застосуємо на ранній стадії розробки проекту, коли відчувається нестача інформації по окремих деталях проекту або технологічного регламенту і по робочим процедурам. Раціонально застосовувати метод як попередник наступних досліджень. Крім того, він може бути корисний в тих випадках, коли аналізуються об'єкти, що експлуатуються, або встановлюються пріоритети безпечної роботи, коли деякі події перешкоджають використанню більш розширеного поєднання технічних прийомів.

HAZID (Hazard Identification) - дослідження є інструментом в основному для ідентифікації рівня небезпеки, та використовується на початкових стадіях проектування. Аналіз проводиться на підставі доступних документів технологічних схем, матеріальних балансів, описів процесів та інших вхідних даних на початковій стадії проектування. Реальна інфраструктура досліджуваного, природні умови експлуатації, геоінформаційні дані необхідні на стадії впровадження, в основному для ідентифікації зовнішніх джерел небезпеки.

Регуляторною функцією державних наглядових органів є дозвільний механізм експлуатації ОПН і економічні важелі впливу шляхом фіскальної системи і законодавчих вимог обов'язкового страхування відповідальності перед третіми особами.

Страхування промислових об'єктів підвищеної небезпеки має свою специфіку. Великі аварії зі значними матеріальними втратами є рідкісними подіями і ризики, пов'язані з такими аваріями не можуть коректно визнача-

тися на основі тільки статистичних даних. Для таких об'єктів необхідна якомога більш якісна оцінка ризику. Страхування має сенс лише в тому випадку, якщо воно здійснюється на основі взаємної вигоди (win-win-situation). Якщо ця умова не дотримана, відсутня ділова основа для страхування. Необхідно, зокрема, забезпечити доступ прямих страховиків і перестраховальників до ризиків, до об'єктів і обладнання, яке повинно бути застраховане.

Нижче представлені методи і засоби, що дозволяють проводити оцінку техногенного ризику промислових об'єктів.

Коригування техногенного ризику засноване на розумінні потенційної небезпеки, що властива техногенним об'єктам і прийнятті спочатку стратегічних рішень і надалі виробленні організаційних, технічних, економічних та інших заходів, які доказово призводять рівень ризику до прийняттого. Під «прийнятним ризиком» мається на увазі порівняно толерантні очікувані наслідки від потенційних загроз, характерних для ОПН. При цьому важливо, щоб дані очікувані наслідки могли бути повністю відшкодовані при їх настанні і розвиток суспільства не знизили темпів.

1.2 Інформаційні технології оцінки рівня небезпеки і техногенного ризику об'єктів підвищеної небезпеки

Категорії існуючих сучасних інформаційних технологій підтримки прийняття рішень в області техногенного ризику, їх переваги, недоліки, область застосування, визначення; обґрунтування необхідності і опис методів, які повинні автоматизувати в системах прийняття рішень представлені в ряді науково-технічних робіт, програмних засобів і методичних розробок. На сьогоднішній час ці роботи присвячені, в основному, окремим методам, програмним засобам, що дозволяє вирішувати локальні завдання аналізу небезпеки та оцінки показників ризику, рівня експлуатаційної надійності та ефективності засобів захисту і засобів подвійного призначення.

Найбільш повні роботи відносяться до спеціальностей «Порошкова металургія та композиційні», «Управління в соціальних і економічних системах», «Управління технологічними процесами і виробництвами» та інші. На жаль, прикладна частина цих робіт відноситься до вузького простору виробництв певної галузі. Наприклад, кращі роботи присвячені:

- хімічним підприємствам [160] і об'єктам хімічної переробки. У роботі представлені методи прогнозу і регулювання техногенного ризику, а також його зниження, принципи кількісної оцінки і прогнозування техногенного ризику за допомогою діаграм причинно-наслідкових зв'язків і моделей деяких фізичних процесів, характерних для аварій на хімічних об'єктах, методи контролю рівня ризику і регуляторного впливу на нього;

- методичним основам оцінки ризику гірничодобувних регіонів [161], в основному спрямованої на забезпечення математичного апарату геоінформаційної системи аналізу та управління територіальної безпекою регіону;

- інформаційної підтримки прийняття рішень при аваріях на об'єктах металургії [162], в якій розглянуті моделі і методи генерації планів ліквідації аварій на об'єктах галузі і математичний апарат, що дозволяє реалізувати алгоритми прийняття рішень при виборі дій при аваріях;

- автоматизації систем оперативного управління об'єктами утилізації хімічної зброї [163], в якій в основному представлені методи прогнозування і діагностики дефектів, що зароджуються і відмов, методи обґрунтування варіантів прийняття рішень, засновані на імітаційному моделюванні і теорії статистичних рішень, а також науково-технічні рішення для синтезу структури і алгоритмічного забезпечення програмно-технічного комплексу автоматизованої системи підтримки прийняття рішень по забезпеченню безпеки.

Велика кількість моделей і методів представлено в [25, 70-73, 164] і ряді інших робіт, присвячених в основному визначенню наслідків аварій на основі математичного моделювання небезпечних фізичних процесів і окремих методів визначення ймовірності (частоти) їх реалізації.

Доступні для аналізу сучасні інформаційні технології оцінки техногенного ризику можна розбити на наступні категорії, представлені в таблиці 1.2 [112].

Таблиця 1.2

Існуючі інформаційні технології оцінки ризику і рівня небезпеки¹.

№	Тип ІТ	Характеристики						
		Моделювання основних видів небезпеки і наслідків аварій	Моделювання імовірнісних характеристик виникнення та розвитку аварій	Аналіз причинно-наслідкових зв'язків аварій. Дотримання принципу ALARP	Можливості чисельного моделювання газодинамічних процесів	Аналіз ресурсу обладнання і RBI аналіз. Виконання режиму «ремонт за станом»	Можливість оптимізації прийнятих рішень	Можливість застосування в динамічних системах управління безпекою.
1	локальні моделі, методи і програмні засоби («калькулятори безпеки»)	+	+	-	-	-	-	+
2	методи оцінки за допомогою експертних ранжируваних показників з використанням універсальних шкал детермінованих бальних, семантичних і кількісних оцінок	-	+	-	-	-	-	-
3	бази даних, бази знань, банки даних і структурованих систем управління базами даних	-	+	-	-	-	-	-
4	інформаційні технології підтримки методів діагностики, моделювання та оцінки ймовірності реалізації ава-	+	+	+	-	+	-	-

	рій на ОПН							
5	інтегровані програмні засоби і системи оцінки рівня небезпеки і техногенного ризику	+	⊥	⊥	—	⊥	⊥	⊥

¹ Позначення в таблиці: + - дозволяє вирішувати окремі завдання; ⊥ - частково дозволяє вирішити конкретні завдання; — - не виконує функцію.

Перша категорія відноситься до найбільш поширеної [164-167] і підходящої для реалізації. Так, наприклад, в [167] представлені методи моделювання та програмний продукт «Токсі 3+», за допомогою якого реалізована модель «важкого газу» і розрахунку наслідків аварійних викидів токсичних домішок в атмосферу. Програмний код «Токсі 3+» на даний момент - найбільш прогресивний засіб моделювання просторового розподілу концентрацій домішки, запропонований в Росії, Білорусії, Україні, має низку позитивних якостей. Крім цього в програмному продукті «Токсі 3+» реалізовані моделі вибуху парогазових хмар. До недоліків даної методики можна віднести суперечливі і алогічні результати, одержані в результаті використання пропонованих в методиці даних і способів визначення токсичного впливу на людей, неможливість просторової структуризації полів ризику від множинних розподілених джерел аварій, немає методів визначення наслідків ударно-хвильових впливів на об'єкти інфраструктури та обладнання та можливості комплексної оцінки ризику для СХТС. Таким чином, запропонована методика і програмне забезпечення вирішують фрагментарно завдання оцінки наслідків техногенних аварій. Методики цього типу описані в [73,168,169]. Методики компаній TNO програмно реалізовані в EFFECT [73]. Такі моделі можуть бути використані тільки як «калькулятор» для розрахунку окремих фізичних ефектів. Більш сучасні програмні засоби представлені компанією DNV (Det Norske Veritas). Програмне забезпечення DNV було визначено в результаті проведення міжнародного тендеру. Поточний аналіз пропонованих до використання програмних засобів для оцінки ризику аварій техногенних об'єктів показав, що якщо для визначення наслідків аварій існує велика різноманітність пропонованих локальних програмних засобів, то для

визначення кількісних показників ризику аварій пропозиції істотно обмежені. При проведенні тендеру в рамках проекту TACIS в Європі в 2005 році вдалося визначити тільки три основних програмних продукто, загальнодоступних, комерційних і таких, що дозволяють вирішувати завдання визначення основних показників ризику: SAFETI AND PHAST (DNV, EU), PROCESS RISK TOOL (Shell, UK), RISKCURVES (TNO, Нідерланди).

До найбільш важливих характеристик PHAST і SAFETI відносяться:

- можливість розглянути досить багато вихідних аварійних подій: руйнування або розгерметизація обладнання, корпуси, течі, роботу запобіжних засобів і т. д.;

- моделі, що використовуються в програмних засобах перекривають широкий спектр небезпечних впливів: вибухи парогазових сумішей (ПГС), бурхливого кипіння рідин, що розширюються при фазовому переході (BLEVE), флешфайер, факела, пожежі, токсичні наслідки поширення небезпечних домішок;

- ядром програм є універсальна модель поширення домішки в атмосфері (UDM), розроблена DNV, що дозволяє враховувати велику кількість явищ: нестационарний характер закінчення і поширення, особливості розповсюдження важкого і легкого газу і ряд інших суттєвих процесів [170];

- при моделюванні таких явищ як: вибух ТВС, вогняного струменя, пожежі спалаху, BLEVE, випаровування з поверхні розділу, витоку і ін.;

- широко використовуються визнані в світі моделі, розроблені такими авторитетними організаціями як API, SHELL, BP, TNO;

- програма FAST дозволяє працювати з великою кількістю речовин і поповнювати базу даних новими речовинами;

- програма SAFETI використовується для визначення основних кількісних показників ризику для життя людей - територіального ризику, можливих уражень, величини колективного та соціального ризиків, з урахуванням множини стохастичних чинників, які впливають на сценарії розвитку аварій.

Незважаючи на найбільш якісні функції даного продукту, він має низку недоліків:

- пропонувані моделі відносяться до дослідницьких і не використовують можливості структурного об'єднання різних даних для автоматизації технології оцінки ризику;

- відсутність зв'язку з основними інструментами аналізу ймовірності виникнення і розвитку аварії - засобами побудови «дерев відмов» і «дерев подій», що знижує технічні можливості дослідника при користуванні програмою.

Методи експертних оцінок з використанням шкал базових бальних, семантичних і кількісних оцінок використовуються в основному при оцінці ризику в виробничих і соціальних структурах на основі обробки статистичних даних. Так, в роботах Верзліна Д. Н. [11] наводиться аналіз таких систем. Переваги таких методів полягають у використанні великого статистичного матеріалу і дозволяють відносно просто перейти до бальних оцінок.

Однак кількісні показники ризику, отримані таким способом, можуть бути використані тільки як порівняльні величини. Найбільш істотний недолік таких методів обумовлений недостатнім статистичним матеріалом значних промислових аварій, який дозволить провести оцінку ризику в межах прийняттого довірчого інтервалу. Крім того, такими методами неможливо провести кількісний аналіз ефективності засобів захисту.

Банки даних і бази даних представлені майже у всіх системах оцінки ризику і містять інформацію прикладного характеру – від логічних описів аварій до кількісних характеристик небезпеки або надійності елементів і систем [73, 168, 169]. Оцінка ризику тільки на основі систем баз даних неможлива, але бази даних дуже корисні при проведенні аналізу.

Окремі програмні продукти, такі як "ВОЗМЕР - 2.2" [60], призначений для розрахунку диференціальних і інтегральних показників ризику вирішують частинні завдання, застосовні до вузького кола загроз і не можуть універсально використовуватися для складних об'єктів хімічної і нафтохімі-

чної промисловості. Наприклад, оцінка ризику, пов'язаного з магістральними газопроводами на основі використання копули [60,112] (багатовимірних функцій розподілу, заснованих на n -мірному одиничному кубі $[0, 1]^n$, так, що кожен його маргінальний розподіл рівномірний на інтервалі $[0, 1]$) прийнятна до лінійних ділянок і не може бути використана для промислового майданчика з множинними джерелами небезпеки різнорідних видів загроз.

Найбільш прийнятною інформаційною технологією, придатною для оцінки рівня ризику серед описаних технологій, є група методів [73] і програмний комплекс SAFETI. Однак його використання суттєво обмежено наведеними вище недоліками.

Більшість моделей, що використовуються при оцінці рівня ризику зводиться до математичного моделювання фізичних процесів з подальшим аналізом показників небезпеки, що виникає при цих процесах. У зв'язку зі складністю цих процесів і суттєвою невизначеністю вхідних даних, в основному використовуються оціночні, напівемпіричні залежності, отримані в результаті обробки експериментальних даних або статистичних узагальнень.

Так, найбільш поширені небезпеки (вибухи, пожежі, розповсюдження токсичних домішок і ін.) представлені в літературі у вигляді аналітичних залежностей.

Визначення показників ударно-хвильової дії найчастіше представлено формулами [23, 73, 197]:

$$\Delta P_f(x) = \frac{a1}{R_p} + \frac{a2}{R_p^2} + \frac{a3}{R_p^3}, \quad (1.1)$$

де $\Delta P_f(x)$ - надлишковий тиск у фронті ударної хвилі;

$$R_p(x) = \frac{x}{\sqrt[3]{C}} - \text{наведена відстань};$$

C – тротиловий еквівалент.

Розповсюдження небезпечного домішку парогазової фази в атмосфері визначається в основному за допомогою різних варіантів нестационарної гаусової моделі (окремих рішеннях рівняння турбулентної дифузії) [70,73]:

$$\frac{\partial q}{\partial t} + u(t) \frac{\partial q}{\partial x} + v(t) \frac{\partial q}{\partial y} + w(t) \frac{\partial q}{\partial z} = K_x(t) \frac{\partial^2 q}{\partial x^2} + K_y(t) \frac{\partial^2 q}{\partial y^2} + K_z(t) \frac{\partial^2 q}{\partial z^2} - \lambda(t) \cdot q(t) + Q(t) \cdot \delta(t - t_k) \cdot \delta(x - x_s) \cdot \delta(y - y_s) \cdot \delta(z - z_s) \quad (1.2)$$

де Q - маса домішки, що розсіюється, розподілена відповідно до функції джерела δ ; K_i - коефіцієнти турбулентної дифузії; u, v, w - проекції швидкості вітру; q - концентрація небезпечної речовини; $\lambda(t)$ - швидкість стоку речовини, що викидається.

Частинні рішення можуть бути представлені, наприклад, залежностями, описаними в [164]:

$$c(x, y, z, t) = \frac{Q}{\frac{8}{3} \cdot \pi \cdot (R)^3 + (2\pi)^{\frac{3}{2}} \cdot \delta_x \cdot \delta_y \cdot \delta_z} \cdot G_3(x, y, z, t), \quad (1.3)$$

$$c_{zu}(x, y, z, t) = \begin{cases} \text{if } x \leq x_{zp}(t_{zu}) \\ \left| \begin{array}{l} \frac{q_{zu}}{w_{10} \cdot (2 \cdot \pi (R_{zu})^2 + 2 \cdot \pi \cdot \delta_y \cdot \delta_z)} \cdot G_H(x, y, z) \text{ if } t \geq \left(\frac{x}{w_{10}} \right) \\ 0 \text{ if } \left(t < \left(\frac{x}{w_{10}} \right) \right) \cup \left(t > \left(\frac{x}{w_{10}} + t_{zu} \right) \right) \end{array} \right. \\ \frac{q_{zu} \cdot t_{zu}}{2 \cdot \pi (R_{zu})^2 \cdot t_{zu} \cdot w_{10} + (2 \cdot \pi)^{\frac{3}{2}} \cdot \delta_x \cdot \delta_y \cdot \delta_z} \cdot G_3(x, y, z, t - t_{zu}) \text{ if } (x > x_{zp}(t_{zu})) \end{cases}, \quad (1.4)$$

де: $\delta_x, \delta_y, \delta_z$ - коефіцієнти дифузії, що залежать від стратифікації атмосфери і

типу місцевості; $x_{zp} = \frac{t \cdot w_{10}}{\sqrt{2\pi} \cdot C_3}$; $G_0 = \exp\left(\frac{-h^2}{2\delta_z^2}\right)$;

$$G_3(x, y, z, t) = \exp\left(\frac{-(x - w_{10} \cdot t)^2}{2 \cdot \delta_x^2} - \frac{y^2}{2 \cdot \delta_y^2}\right) \cdot \left(\exp\left(\frac{-(z - h)^2}{2 \cdot \delta_z^2}\right) + \exp\left(\frac{-(z + h)^2}{2 \cdot \delta_z^2}\right)\right);$$

$$G_H(x, y, z) = \exp\left(\frac{-y^2}{2 \cdot \delta_y^2}\right) \cdot \left(\exp\left(\frac{-(z - h)^2}{2 \cdot \delta_z^2}\right) + \exp\left(\frac{-(z + h)^2}{2 \cdot \delta_z^2}\right)\right);$$

Q - маса викиду ОХВ, кг; q_{zu} - продуктивність викиду НХР, кг/с;
 x, y, z, t - координати і час обчислення концентрації домішки c ; h - висота місця витікання домішки, м; w_{10} - швидкість вітру на висоті 10 метрів, м/с.

Коефіцієнти A, B, C, D визначаються на підставі стратифікації атмосфери і характеристик навколишнього середовища і представлені в [164].

Методи визначення теплового випромінювання та інших характеристик пожеж широко представлені в [63,68,73,201]. У більшості випадків інтенсивність теплового впливу визначають на підставі залежності:

$$q(R) = E_f \cdot F_q \cdot \tau, \quad (1.5)$$

де E_f - середньоповерхнева щільність випромінювання полум'я; F_q - коефіцієнт видимості; τ - коефіцієнт пропускання атмосфери - визначаються на підставі аналітичних залежностей, коефіцієнти яких отримані в результаті обробки експериментальних даних.

У деяких випадках можна користуватися чисельними моделями [91,107], заснованими на вирішенні рівняння обміну тепловим випромінюванням Блоха:

$$Q = C_0 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \int_{F_1} \int_{F_2} \frac{\cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2}{\pi R^2} \cdot dF_1 dF_2, \quad (1.6)$$

де C_0 - коефіцієнт випромінювання тіла; T_1 - середня температура поверхні джерела; T_2 - середня температура поверхні приймача; R - відстань від точки випромінювання до поверхні обміну; φ_1 - кут між нормаллю до поверхні приймача і видимої поверхні джерела; φ_2 - кут між нормаллю до поверхні джерела і прямий від приймача до точки на поверхні джерела; F_2 - площа поверхні джерела; F_1 - площа поверхні приймача.

Найбільш повно сучасні теоретичні та методологічні основи аналізу і оцінки ризику, пов'язаного з впливом техногенного і природного характеру в Україні представлені в роботах Лисиченка Г. В. [25].

На жаль, перелічені і багато інших моделей розрізнено вирішують частинні завдання. Практично відсутні моделі та інформаційні технології, що дозволяють чисельно визначати параметри газодинамічних явищ.

Наприклад, узагальнені показники ризику пропонується визначати на підставі логіко-лінгвістичного виразу [160], представленого як:

$$\langle \text{ДПСС} \rangle ::= \langle U \wedge N \wedge \Omega \wedge F | \pi \wedge D \wedge A \wedge B \wedge P \wedge T \rangle, \quad (1.7)$$

Формалізація $\langle \text{ДПСС} \rangle$ здійснюється введенням підмножин: а) $U = \{1, 2, \dots, j, \dots, u\}$ – вузли кодування; $N = \{\upsilon_1, \upsilon_2, \dots, \upsilon_u\}$ – пов'язані з ними змінні; $\Omega_j = \{\omega_1, \omega_2, \dots\}$ – прийняті ними значення; $F = \{f_1, f_2, \dots, f_u\}$ – щільності ймовірності величин або $\Pi = \{\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_u\}$ – функції приналежності металінгвістичних змінних - для вузлів; б) $D_i = \{d_1, d_2, \dots\}$ – найменування дуг; A_j – дуги-предесесори (що входять в j -й вузел); B_j – дуги-саксесери (що виходять); P_{ij} – ймовірності або заходи можливості переходів з i в j ; T_{ij} – необхідні для цього витрати.

Такий підхід має істотний недолік, обумовлений обмеженістю графа виникнення подій, обмеженого п'ятьма станами: $U = \{1$ – відсутність передумов аварії; 2 і 3 – поява відповідно помилок і відмов; 4 – небезпечне, пов'язане з їх неусуненням; 5 – критичне, тобто поява в небезпечній зоні незахищені елементи }.

Крім того, такий підхід не дозволяє «просуватися» по ланцюгах графа при аналізі причинно-наслідкових зв'язків аварійних процесів.

До основних недоліків існуючих моделей, методів, інформаційних технологій оцінки та аналізу ризику відносяться:

- розрізненість рішень окремих завдань моделювання процесів ризику;
- несумісність критеріальних показників, які застосовуються при оцінці ризику і, як наслідок, неможливість отримання інтегрального уявлення про рівень безпеки і можливості його зниження;
- неможливість проведення кількісного аналізу і вироблення рішень при використанні рангових (рейтингових) методів або односпрямованих оцінок традиційними математичними методами згортки (функціональне

згортання, сепарабельне, адитивна і ін.) відносно дискретних виділених елементів або процесів СХТС.

Останнє зауваження особливо наголошує на необхідності вирішення науково-технічної проблеми розробки методів, моделей та інформаційних технологій оцінки ризику, заснованих на ризико-орієнтованом підході і синтезі імітаційно-подієвих моделей, які дозволили б не тільки отримувати кількісні показники параметрів ризику, але і проводити аналіз причинно-наслідкових зв'язків процесів СХТС для вироблення рішень, що дозволяють усунути розбіжності доказовими методами.

1.3 Вимоги до моделювання при оцінці техногенного ризику

Визначення кількісних показників ризику засноване на математичному моделюванні процесів, характерних для СХТС, деяких фізичних явищ, які становлять небезпеку при виникненні аварій, матеріального збитку, що настає в результаті розвитку аварійних процесів, можливих людських втрат і біологічного і екологічного збитку.

Згадані вище процеси і події носять стохастичний характер, але об'єднані причинно-наслідковими зв'язками, мають логічну спрямованість і можуть бути представлені складним багатовимірним спрямованим графом. При цьому стани графа і переходи можуть мати кількісні показники, що відносяться як до ризику, так і іншими показниками, необхідними для підтримки процесу пошуку рішень. Таким чином, при правильному формулюванні завдання і моделюванні з урахуванням факторів взаємовпливу, можливо здійснити спрямований пошук в просторі станів (*state space search*) інформаційними методами (евристичними). У зв'язку з логічною спрямованістю процесів в СХТС, їх неможливо описати тільки як Марковський процес (*процес без наслідків*). Однак зміна окремих станів системи в окремих випадках цілком може бути представлена Марківськими ланцюгами.

При моделюванні для визначення показників ризику необхідно враховувати такі особливості:

1. Імовірність реалізації шуканого i -го процесу або події є безрозмірною величиною, але відноситься до нормованої за часом. У цьому сенсі йдеться не просто про ймовірність події, а про ймовірність події протягом періоду часу (зазвичай на рік);

2. Більшість модельованих процесів описуються функціями часу і простору. У зв'язку з цим необхідно використовувати єдину метричну систему подання та обробки даних в просторі і часу (використання ГІС);

3. Процеси, що моделюється, можуть бути спільними, несумісними і незалежними. Необхідно враховувати взаємовплив процесів і їх спрямованість в причинно-наслідковому зв'язку, а також розвиток їх у часі.

4. З огляду на те, що великі (значні) аварійні процеси відносяться до рідкісних подій, кількісний аналіз ймовірності аварійних подій неприпустимо виконувати тільки на основі обробки статистичних даних аварій;

5. У зв'язку з дисперсією ймовірності подій, що визначаються необхідно враховувати нижню і верхню межі відхилення (довірчий інтервал). При математичному моделюванні фізичних процесів, які становлять небезпеку необхідно дотримуватися консервативних методів оцінок (найгірших за наслідками);

6. Методи, що розробляються для підтримки прийняття рішень з управління рівнем безпеки та надійності повинні надавати можливість структурного моделювання досліджуваних процесів в межах сфери застосування і сфери визначення моделей і їх адекватності проведених досліджень в межах точності поставлених цілей.

Методична забезпеченість моделювання повинна дозволяти проводити вибір рішень оптимальних в сенсі Парето при багатопараметричної оптимізації. Це означає, що метою моделювання повинна бути навігація по простору Парето з досягненням фронту найбільш раціональних рішень (*Pareto-frontier*) в межах допустимих (прийнятних) показників ризику.

Математичні моделі, що відображають окремі випадки аварійних процесів повинні бути описані, апробовані, перевірені і пройти валідацію до рівня, що допускає зрозуміле і прозоре їх використання.

1.4 Галузь застосування оцінки техногенного ризику

Процес впливу на техногенний ризик заснований на попередженні (профілактиці) аварійних процесів на ОПН. При цьому профілактичними заходами вважаються всі дії, спрямовані на мінімізацію негативних наслідків аварій і зниження ймовірності їх виникнення. Очевидно, що такий процес носить нескінченний характер і втрачає сенс в тому випадку, коли складність і вартість зусиль, спрямованих на попередження аварій перевищує очікуваних збитків від попереджувачий негативних подій. При цьому потрібно враховувати вимоги законодавства, що передбачає також нормовані граничні показники ризику. У цьому випадку такі показники стають непереборними обмежувачами для простору прийнятих рішень.

Для прийняття рішень щодо техногенного ризику ОПН на будь-якому рівні, перш за все, необхідно визначити його поточний рівень.

Для цього в законодавстві практично всіх країн передбачена розробка Декларації (Звіту) безпеки об'єкта, підприємства, техногенного регіону і т. д. [171,172]. 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.

Крім того, в основних законах, що стосуються ОПН передбачена політика і реалізація «систем управління промисловою безпекою», основною метою яких є система моніторингу і реагування на зміну поточного рівня ризику небезпечних виробництв.

Найбільш привабливим для промисловців (організацій, що експлуатують ОПН) є досягнення режимів ремонтно-відновлювальних робіт підп-

риємств за принципом «ремонт за станом», при якому можливе істотне поліпшення експлуатаційних характеристик обладнання при збереженні прийняттого рівня ризику.

1.4.1 Декларування і обґрунтування безпеки промислових об'єктів

Декларація (звіт) промислової безпеки [173, 174] містить всі необхідні дані для аналізу небезпеки та оцінки ризику, розрахунково-пояснювальну записку, в якій наводяться всі розрахунки показників ризику, збитків і безпеки, характерних для ОПН. Декларація надається в державні наглядові органи для реєстрації і подавець декларації несе відповідальність за достовірність поданих відомостей відповідно до чинного законодавства. Декларація повинна бути доступна представникам місцевої громади для усунення можливих розбіжностей. Рішення тріумвірату: власник ОПН → органи держнагляду → місцеве самоврядування (держава - промисловці - громада) є обов'язковим для виконання всіма учасниками і повинно бути отримано на основі повного консенсусу сторін.

Відповідно до [172] об'єкти підвищеної небезпеки класифіковані з урахуванням ступеня ризику цих об'єктів, частоти виникнення аварій і потужність їх можливих наслідків. ОПН розділені на чотири основні класи: (I клас) - надзвичайно високу небезпеку, (II клас) - високою, (III клас) - середньої і низької - (IV клас).

Для ОПН I і II класів передбачено обов'язкове декларування промислової безпеки, реєстрація та експертиза.

Окремо видається обґрунтування безпеки ОПН в тих випадках, коли можливе відхилення від правил і норм, передбачених законодавством або керівними документами. При цьому розробляється документ, в якому містяться відомості про результати кількісної оцінки ризику, характерної для даного об'єкта або процесу і наслідків можливої загрози, а також умови, за яких можлива безпечна експлуатація об'єкту, вимоги до дотримання таких

умов, методи планування і проведення ремонтно-відновлювальних робіт, консервації та ліквідації об'єкта.

Відповідно до вимог загальних правил в забезпеченні безпеки необхідно включати чотири розділи:

- загальні відомості;
- результати оцінки ризику аварій на ОПН і опис загрози, які викликані цим ризиком;
- умови і правила безпечної експлуатації небезпечного промислового об'єкта;
- вимоги та інструкції до безпечної експлуатації, ремонтно-відновлювальним заходам, консервації та утилізації небезпечного виробничого об'єкта.

При описі результатів проведеної оцінки ризику можливих наслідків відхилень необхідно привести опис обраних методів аналізу рівня небезпек і оцінки ймовірності їх наступів, а також результати розрахунків показників ризику із зазначенням рівня невизначеності і загроз, які характерні даному ризику.

До розробки обґрунтування безпеки необхідно визначити всі принципи технічні рішення щодо безпечної експлуатації об'єкта (що відносяться до об'єкта і його окремих частин і компонентів, конструкцій, будівель і споруд), привести аналіз поточної нормативної документації.

1.4.2 Система управління промисловою безпекою

Відповідно до нормативних документів [171,172,174] затверджуються вимоги до формального забезпечення систем управління промисловою безпекою (СУПБ).

Організації, які експлуатують небезпечні виробничі об'єкти I і II класів безпеки зобов'язані створювати і документально забезпечити СУПБ, в тому числі з використанням інформаційних технологій і засобів, і проводи-

ти політику забезпечення промислової безпеки відповідно до вимог «Положення про СУПБ».

Заходи, пов'язані з управлінням промисловою безпекою небезпечних промислових об'єктів, планування таких заходів і процес їх реалізації структурно взаємопов'язані. Автором дисертації пропонується розробка, яка містить: структуру даних і інформаційних потоків, структуру програмних засобів, структуру користувачів, формати даних, методи реалізації СУПБ.

Відповідно до закону «Про промислову безпеку» та інших законодавчих актах [171,172]: *«система управління промисловою безпекою - комплекс взаємопов'язаних організаційних і технічних заходів, здійснюваних організацією, яка експлуатує небезпечні виробничі об'єкти, з метою попередження аварій та інцидентів на небезпечних виробничих об'єктах, локалізації та ліквідації наслідків таких аварій».*

Відповідно до вимог статей Закону необхідно використання наступних пунктів:

1. Організація, яка експлуатує небезпечний виробничий об'єкт, зобов'язана забезпечити організацію і проведення виробничого контролю за дотриманням вимог безпеки відповідно до вимог, які встановлені Урядом.

2. Організація виробничого контролю за дотриманням вимог ПБ розробляються в електронній формі документа, вносяться в базу документів підприємства і мають формат, відповідний прийнятій на підприємстві системи документообігу, підтвердженої електронним підписом, і прямують органам нагляду у встановлені терміни і в регламентованому порядку. Вимоги до структури та формату представлення інформації про організацію промислового контролю за дотриманням вимог безпеки встановлюються компетентним органом виконавчої влади, відповідальним за нагляд за промисловою безпекою.

3. Експлуатуючі організації небезпечних виробничих об'єктів I або II класу безпеки, зобов'язані створити СУПБ і забезпечувати їх функціону-

вання у вигляді, доступному для контролю органами влади і місцевого самоврядування.

Аналогічні вимоги висунуті законодавством України, деяких країн СНД, Європи. У Німеччині, наприклад, існує вимога надавати відкриту інформацію в мережу Інтернет про технічний стан і всі інциденти і аварії. У поточний момент гармонізується національне законодавство і регламентує документація федеральних земель з директивою Seveso III.

1.4.3 Методи організації ремонтно-відновлювальних робіт підприємств за принципом «ремонт за станом»

У список важливих завдань безпечного ведення технологічних процесів входять попереджувальні профілактичні заходи, що впливають на складну хіміко-технологічну систему (СХТС) і проведення **ремонтно-відновлювальних робіт (РВР)** в режимі запитів і необхідності, а також планування зниження ймовірності аварій і небезпечних відмов на техногенному об'єкті.

Для вирішення цих завдань, що підвищують рівень промислової безпеки із застосуванням оптимізації техніко-економічних показників виробництва, необхідно планувати проведення РВР із застосуванням RBI (Risk Based Inspection) методів з урахуванням реальних кількісних даних оцінки ризику підприємства. Згідно з вимогами до розробки СУПБ, необхідно створити «Положення про систему управління ПБ» і забезпечити пункт: «ж) порядок планування робіт, що здійснюються в рамках системи управління промисловою безпекою». Описується процедура планування робіт в рамках СУПБ, до яких відносяться: заходи попередження аварій (діагностика, моніторинг надійності експлуатаційних засобів і засобів подвійного або протиаварійного призначення і ліквідації аварій, визначення показників залишкового ресурсу і необхідності проведення ремонтно-відновлювальних робіт),

методи і способи контролю стану рівня безпеки, процедура звітності та документообігу в рамках ведення заходів СУПБ.»

Такий шлях відноситься до трудомістких видів робіт, але дозволяє забезпечити необхідний рівень промислової безпеки в поєднанні з високою ефективністю заходів, пропонувананих для профілактики аварій.

У міжнародній термінології такий вид робіт називається RBI (Risk Based Inspection) - аналіз стану технологічної системи з оцінкою та обліком показників ризику аналізованих подій. Головною метою проведення RBI є оптимізація витрат, спрямованих на досягнення прийняттого рівня технологічного ризику з одночасним урахуванням інтересів виробництва продукції.

RBI застосовується для таких виробництв як нафтогазова і хімічна промисловість, енергозабезпечення та генерація, транспортування небезпечних речовин і вантажів, сільськогосподарської промисловості і біотехнології та інші.

Існують такі види технічного обслуговування і ремонту:

1. Технічне обслуговування за запитом (станом) (ТОС);
2. Планово-попереджувальний ремонт (ППР);
3. Обслуговування по фактичному відхиленню (перевищення експлуатаційної безпеки).

Перший вид допустимо для тих елементів СХТС, зупинка (відмова) яких не призводить до значних негативних наслідків і, тим більше, до катастрофічних аварій, а також до істотної перерви у виробництві (відмова працездатності, яка спричинила значні матеріальні втрати).

Другий потрібно тільки для тих видів обладнання, відмова яких може призвести до значних аварійних наслідків або суттєвих втрат, пов'язаних з перервою у виробництві.

Третій варіант найбільш цікавий і перспективний, так як він піддається плануванню з елементами оптимізації прийнятих рішень, з одночасним досягненням профілактичних цілей. Проте саме цей вибір вимагає діагностики та обробки інтенсивності відмов і несправності елементів ОПН протя-

гом періоду експлуатації для встановленого характеристик залишкового ресурсу.

Характеристики обладнання, його залишковий ресурс і інші показники технічного стану елементів обладнання, а також показники надійності експлуатованого об'єкта досліджуються спеціальними методами з застосуванням процедур з урахуванням залежності ймовірності несправності від часу експлуатації і характерних показників зносу. Приклади методів визначення залишкового ресурсу наводяться в додатку Е.

Метою переходу до «ремонт за станом» є оптимальне формування динамічної структури РВР з урахуванням очікуваних наслідків відмов обладнання, що дозволяє мінімізувати витрати на забезпечення безпеки технологічних процесів в межах допустимого ризику.

1.4.4 Організаційні та економічні методи регулювання рівня техногенної безпеки

Узагальнена схема впливу на рівень техногенного ризику (ТР) представлена на рисунку 1.3

Суть процесу впливу на ТР заснована на наступних тезах:

1. Експлуатація ОПН допустима лише в тому випадку, якщо рівень ризику ОПН не призведе до порушення сталого розвитку в зоні впливу ризику.
2. Держава і суспільство не повинні 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 (експлуатуючі організації) не можуть бути обмежені в правах вільного підприємництва в межах забезпечення прав суб'єктів, причетних до ризику ОПН.

Для забезпечення цих вимог пропонується виконання наступної процедури:

- Носій ризику зобов'язаний подати до державного органу реєстрації і регулювання ризику Декларацію (Звіт) промислової безпеки. У цій декларації він зобов'язаний подати інформацію про **ризик** об'єкта підвищеної небезпеки (склад і структура Декларації регламентована в керівних документах, відповідають закону про об'єкти підвищеної небезпеки). Декларація проходить експертизу в незалежному експертному органі (недержавному і не перебуває у відносинах в тими, хто розробив і подав Декларацію). Державний орган зобов'язаний реєструвати Декларацію за умови дотримання нормативних вимог і наявності незалежної експертизи. Декларація повинна перероблятися і підтверджуватися при реконструкції або модернізації об'єкта підвищеної небезпеки, яка змінює ризик об'єкта або після регламентованого терміну (наприклад, 5 років). Інститут незалежних експертів створений компетентним органом державного управління. У цьому органі проводиться атестація та акредитація незалежних експертів і виходить кваліфікаційний доступ до виконання експертиз. У разі порушення регламентних вимог до Декларації, негативною експертизою, або відсутності Декларації для підприємства, що проектується, експлуатується або ліквідується. Носій ризику несе відповідальність що до чинного національного законодавства. Компетентний орган державного управління при цьому може вимагати заборони роботи об'єкта підвищеної небезпеки. Декларація в повній мірі може бути запрошена для ознайомлення також органами місцевого самоврядування (представниками громади) для складання претензій (якщо така необхідність виникає) від імені третіх осіб.

- 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 - PML) від найгіршої аварії на об'єкті підвищеної небезпеки.

- Компетентний державний орган зобов'язаний прийняти рішення по розбіжностях всіх учасників і забезпечити ефективний контроль за дотриманням вимог чинного законодавства в області техногенного ризику.

Усі прийняті рішення на всіх рівнях на основі реалізації ризико-орієнтованого підходу підтримуються необхідним рівнем страхування і наповнення гарантованих фондів покриття збитків при настанні страхового випадку. При цьому в межах консенсусу досягнення прийнятного ризику передбачена розробка і виконання планів локалізації та ліквідації надзвичайних ситуацій на об'єктовому, місцевому та державному рівнях в залежності від рівня загроз ОПН.

На рис. 1.3 показана структура системи використання оцінки техногенного ризику з урахуванням викладених вище тез.



Рис. 1.3. Державна система оцінки та аналізу техногенного ризику

Таким чином, виконуються основні вимоги регулювання ризику ОПН в замкнутій системі: державні органи забезпечують сталий розвиток шляхом контролю, управління і досягнення прийняттого ризику при експлуатації ОПН, захисту безпеки і інтересів місцевої громади та держави, власник ОПН отримує простір для виробничої діяльності в межах чинного законодавства і здійснює страхування власних ризиків, громада погодить ризик від ОПН і гарантовано отримує відшкодування збитку від страхових фондів. Такий підхід гарантує загороджувальні заходи від ризику, величина якого виходить за межі прийняттого.

1.5 Організація обчислювальних ресурсів і документообігу в інформаційних системах забезпечення промислової безпеки

Рішення науково-технічної проблеми оцінки ризику та інтеграції інформаційної підтримки прийняття рішень, структурування даних і методів обробки інформації, автоматизації процесів обчислень, управління інформаційними потоками, засобів документообігу в рамках процесів, описаних вище можливо шляхом розробки комплексної інформаційної технології.

Структурні складові інформаційного забезпечення процесу регулювання техногенного ризику представлені на рис. 1.4.

Всі вхідні дані, результати розрахунків, знання, звіти і зворотня інформація по ОПН можуть зберігатися в «проектах безпеки ОПН», які об'єднують інформацію про конкретний ОПН. Такі «проекти» повинні розміщуватися в «сховище проектів» на серверах, що забезпечені і управляються державними наглядовими та регуляторними органами.

Також в сховище даних проектів повинні знаходитися «бази даних небезпечних властивостей речовин» і база регуляторних даних нормування на основі Seveso III [180] і нормативних документів, які відповідають чинним національним законодавством.

Крім того, в сховищі на серверах зберігається основний системний процесор моделей оцінки ризику - програмне забезпечення для проведення всіх обчислювальних операцій при моделюванні процесів ризику. До проекту безпеки ОПН підключені дані СУПБ, використовувані для цього ОПН.

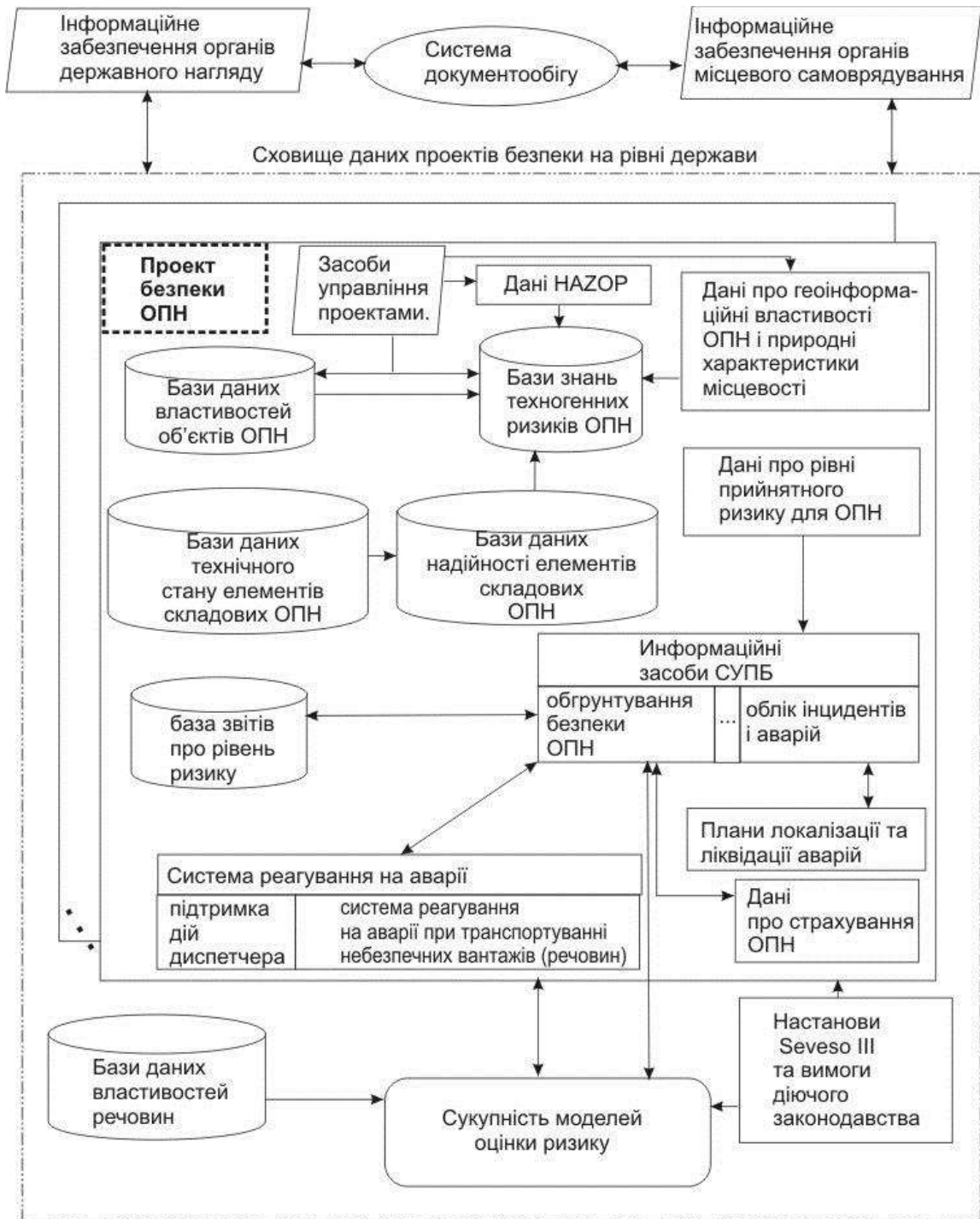


Рис. 1.4. Структурні складові інформаційного забезпечення оцінки техногенного ризику

На зовнішньому рівні використовуються прийняті в експлуатацію системи документообігу, які забезпечують взаємодію і проходження інформаційних потоків по тріумвірату: державні органи нагляду → органи місцевого самоврядування → СУПБ ОПН.

Доступ до проектів безпеки ОПН здійснюється безпосередньо через десктоп-додатки в операційній системі Windows або Хмарні обчислення (*cloud computing*) забезпечують повсюдний і зручний мережевий доступ на вимогу до загального пулу.

Вільний доступ до інформації забезпечується шляхом використання стандартних форматів даних, протоколів і засобів мереж передачі даних.

Кінцевим підсумком роботи інформаційної технології підтримки прийняття рішень щодо техногенного ризику є рекомендовані до використання технічні, економічні та організаційні заходи, рішення про можливість та умови експлуатації ОПН, розрахункові показники ризику, матеріали для складання планів ліквідації аварій та укладення договорів страхування.

Стан проблем і завдань дисертаційного дослідження представлено на рис. 1.5.

Для того, щоб отримати кількісні показники ризику і приймати рішення з дотриманням принципу ALARP (*as low as reasonable applicable / practicable* - досягнення ризику настільки низького, настільки це можливо / доцільно), необхідно розробити методи та інформаційні технології, що дозволяє виконувати процедури:

- аналіз небезпеки і працездатності ОПН з використанням методів, представлених в міжнародних стандартах, керівних документах, рівня експлуатаційної безпеки та надійності і ефективності засобів захисту;

- кількісне визначення ймовірності (частоти) реалізації різних аварій, характерних для досліджуваного об'єкта з урахуванням множинних джерел небезпеки;

- моделювання процесів формування небезпечного середовища, розвитку аварій, їх негативних наслідків з урахуванням їх динаміки;

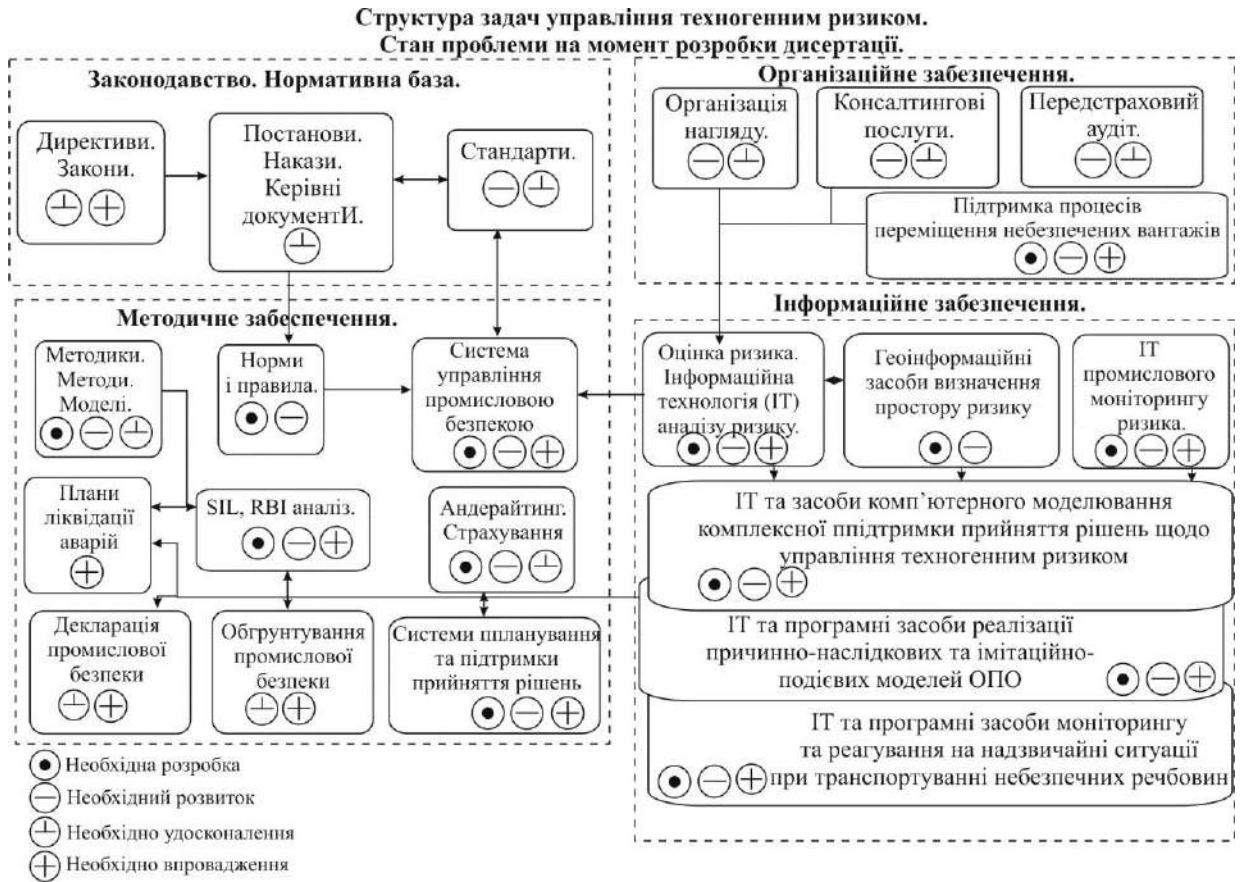


Рис. 1.5. Стан проблем галузі досліджень на момент розробки

- розрахунок інтегральних показників ризику: ризику територій, очікуваного числа уражених, індивідуального ризику, очікуваного збитку, інших показників, опорних для страхування і прийняття рішень;

- страхування об'єкта підвищеної небезпеки: як відповідальності перед третіми особами, майна об'єкта підвищеної небезпеки, життя і здоров'я персоналу, так і інших видів страхування;

- моніторинг ризику з метою прийняття рішень за принципом ALARP в процесі експлуатації, реконструкції, зміни умов діяльності та супроводу страхування.

Для приведення перерахованого класу задач до рівня «вирішена в достатній мірі» в дисертаційній роботі необхідно вирішити науково-технічну

проблему розробки цілісної інформаційної технології, заснованої на принципах синтезу моделей і методах оцінки рівня техногенної безпеки з використанням ризико-орієнтованого підходу для підтримки прийняття оптимальних рішень. Для вирішення цієї важливої науково-практичної проблеми, в роботі необхідно вирішити комплекс завдань:

1) Розробити методи оцінки техногенного ризику, який формується промисловими об'єктами підвищеної небезпеки, інформаційні, структурні і математичні моделі, які мають рішення в єдиному інформаційному просторі збору, обробки та аналізу даних, дозволяють забезпечити підтримку рішень в межах прийняттого ризику за рахунок використання інформаційних технологій і автоматизованої обробки інформації.

2) Розробити методи і засоби комп'ютерного моделювання для реалізації комплексної підтримки прийняття рішень по корекції техногенного ризику.

3) Забезпечити розвиток методичної та нормативної бази і розробку автоматизованих засобів підтримки прийняття рішень для підвищення безпеки ОПН за рахунок попередження аварійних ситуацій і локалізації їх наслідків, шляхом зниження ймовірності їх реалізації.

4) Формалізувати методи синтезу моделей багатовимірних систем до рівня вирішення завдань оптимізації підтримки прийняття рішень в області техногенної безпеки.

5) Забезпечити вдосконалення методів підтримки прийняття рішень для багатопараметричних систем, що забезпечують навігацію в просторі Парето до досягнення оптимально прийняттого рівня ризику.

6) Забезпечити практичну реалізацію підходів, методів і моделей для створення системи підтримки прийняття рішень і програмних засобів її втілення в області забезпечення необхідного рівня безпеки промислових об'єктів, засобів транспортування небезпечних речовин, об'єктах енергетики та інших об'єктах підвищеної небезпеки.

7) Забезпечити практичну інтеграцію моделей і методів і програмних засобів оцінки техногенного ризику в структуру швидкого реагування [83, 102] на аварійні ситуації за двома напрямками:

- підтримка дій диспетчера підприємства (ОПН);
- інформаційна підтримка частин ліквідації НС у разі аварій при транспортуванні небезпечних вантажів.

Таким чином, науково-технічна проблема, що вирішується в дисертації, полягає в необхідності отримання основних показників ризику (використовуваних при підтримці прийняття рішень на їх основі), характерних для досліджуваних об'єктів з виконанням таких вимог:

а) параметри ризику повинні мати кількісні та якісні показники, отримані на підставі об'єктивних, прозорих і доказових методів;

б) методи, моделі та засоби отримання і обробки інформації повинні дозволяти аналізувати події поєднання, що призводять до збитків і забезпечити:

- пошук рішень, найбільш раціонально призводять рівень ризику до прийняттого;

- можливість отримання показників ризику в форматі, відповідному специфічним вимогам техногенної безпеки, страхування, логістики ремонтно-відновлювальних робіт, вироблення вимог до інтегрального рівня безпеки (SIL) і ін. галузей застосування;

в) повинна бути забезпечена можливість періодичного моніторингу стану ризику, поточних аварій на об'єктах (включаючи переміщення небезпечних вантажів) і аналізу ризику при розробці планів ліквідації аварій;

г) засоби моделювання повинні дозволяти гнучкий синтез моделей, що імітують стану системи при виникають потоках подій;

д) засоби моделювання, моделі і методи оцінки рівня небезпеки і наслідків аварій повинні дозволяти отримувати показники наслідків аварій як при прогнозі різних можливих сценаріїв розвитку аварій, так і при виник-

ненні реальних аварійних ситуацій з поточними вхідними характеристиками.

Висновки до розділу 1

1. Представлені теоретико-методологічні аспекти концепції техногенної безпеки в контексті інформаційної підтримки прийняття рішень на основі ризико-орієнтованого підходу. Відзначено, що сталого розвитку в умовах збільшення техногенної загрози можна домогтися тільки шляхом досягнення консенсусу в тріумвірат «держава - промисловці - громада» на базі досягнення прийняттого рівня ризику і шляхом гармонізації рішень щодо заходів безпеки ОПН.

2. На підставі проведеного аналізу вказані переваги і недоліки існуючих моделей, методів, інформаційних технологій оцінки ризику. Показано, що, незважаючи на багато існуючих частинних методів і моделі рішень задач промислової безпеки, досить повного і універсального методологічного підходу і засобів інформаційної підтримки в області техногенного ризику не представлено.

3. Сформульовано основні підходи, вимоги та методи, необхідні для вирішення завдань корекції техногенного ризику для переважної більшості об'єктів підвищеної небезпеки.

4. Описані основні положення і проблеми, що лежать в основі оцінки ризику. Обґрунтовано необхідність введення запобіжних заходів аварійних процесів і автоматизації процесів моделювання та пошуку оптимальних рішень з урахуванням багатопараметричних обмежувачів.

5. Сформульовано основи автоматизованої оцінки ризику і показників безпеки ОПН, що реалізуються у вигляді методологічної бази і програмних засобів збору, обробки, зберігання та обміну інформацією системи підтримки прийняття рішень, що створюються з метою забезпечення процесу корекції техногенного ризику на державному рівні.

6. Відзначено, що необхідно створити універсальну систему, за допомогою якої можна забезпечити облік просторово-часових, стохастичних, якісних і кількісних характеристик ОПН, а також знання про причинно-наслідкових зв'язках СХТС і причинну спрямованість процесів виникнення і розвитку аварій.

7. Необхідна розробка нових методів автоматизації основних етапів оцінки впливу техногенної безпеки на стан ОПН, яка, на відміну від існуючих, повинна дозволяти об'єднати методи спільного застосування традиційних систем моделювання і оцінок рівня безпеки та методів підтримки прийняття технічних, економічних і організаційних рішень на основі прийнятних умов для узгодження інтересів виробників, територіальних громад та державних регулюючих органів. Такий шлях забезпечує прозору і обґрунтовану корекцію техногенного ризику ОПН.

8. Визначено основні напрямки досліджень дисертаційної роботи, мета якої полягає в розробці науково-технічних основ, методів та інформаційних технологій підтримки прийняття рішень в області техногенної безпеки, які вирішують важливу науково-технічну проблему досягнення прийняттого ризику при експлуатації об'єктів підвищеної небезпеки. В результаті дисертаційних досліджень створюються методи синтезу моделей і програмних засобів їх реалізації, що дозволяють накопичувати, переробляти і аналізувати дані і проводити їх адаптацію до специфіки завдань предметної області.

Матеріали розділу опубліковані в роботах автора [75, 77, 80-85, 95, 102, 104, 106, 107]

РАЗДЕЛ 2 МЕТОДИ І МОДЕЛІ ОЦІНКИ ІНТЕГРАЛЬНОГО РИЗИКУ

Розділ присвячений розробці моделей оцінки техногенного ризику і формалізації завдання процесу підтримки прийняття рішень в галузі промислової безпеки. Описана концептуальна постановка задачі розробок. 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 многопараметрических обмежувачів. Запропоновано критерії та методи для прийняття рішень оптимальних в сенсі Парето спрямованих на досягнення прийняттого рівня безпеки та вдосконалення логістики ремонтно-відновлювальних робіт.

2.1 Загальні положення та концептуальна постановка.

Для вирішення описаної в п. 1.5 науково-технічної проблеми розроблено **метод імітаційно-подієвого моделювання**, що дозволяє формалізувати причинно-наслідкові зв'язки подій в аналізованих об'єктах.

Небезпечне виробництво, що аналізується, складається з множини технологічних елементів, розподілених в просторі. В результаті аналізу безпеки і роботоздатності ОПН виділяється множина i -х дискретних джерел небезпеки ($i = 1..J$), з'ясовується їх розташування і властивості, необхідні для моделювання. Досліджуване виробництво розбивається на підсистеми (блоки), до складу яких входять елементи СХТС, стан яких (відмова, спрацьовування) однозначно визначає небезпеку, що проявляється та її масштаб (потужність прояви). Крім того, виділяється множина об'єктів (будівлі,

конструкції, обладнання, об'єкти життєдіяльності, екологічні об'єкти і т. п.), що мають цінність і піддаються впливу негативних факторів аварій. Ці об'єкти називаються «об'єкти турботи», розподілені в просторі і володіють властивостями і показниками, необхідними для моделювання (наприклад: залишкова вартість, стійкість до ударно-хвильового впливу, кількість людей в будівлі і ін.). Просторове розташування людей в зоні впливу небезпечних чинників поза будівель і споруд враховується шляхом створення множини «регіонів». «Регіон» – замкнений об'єкт з ненульовою площею і заданою кількістю людей, що відображає середній добовий стохастичний показник знаходження людей в межах регіону. У зв'язку з необхідністю використання просторових характеристик об'єктів, розроблені засоби геоінформаційної технології, докладніше описаної в п. 4.2.

Елементи складної хіміко-технологічної системи (СХТС), що входять до складу блоків, переходять в різні стани в залежності від дискретних подій (відмова, спрацьовування, вплив) і процесів (поток, зміна температури, тиску і т. д.), що відбуваються в реальному часі і просторі. Аналіз причинно-наслідкових зв'язків таких переходів формалізується методами логічного моделювання. Для кожного i -го джерела небезпеки виділяється множина j станів, обумовлених сполученнями комбінацій відмов, відхилень, режимів роботи, що призводять до аварій, аварійних процесів зі значними негативними наслідками.

Розробка імітаційно-подієвої моделі (ІПМ) досліджуваного ОПН, на відміну від відомих методів дискретно-подієвого моделювання, здійснюється за рахунок формалізованого опису причинно-наслідкових зв'язків між стохастичними подіями і детермінованими процесами, які можуть відбуватися в СХТС. Імітаційно-подієва модель, що розробляється в цьому дослідженні, дозволяє аналізувати сукупності сполучень подій і процесів, які відповідають цим сполученням по ланцюгам причинно-наслідкових зв'язків. При цьому обчислюються ймовірності переходу системи в різні стани і по-

казники фізичних процесів, а також наслідків, до яких ці процеси призводять.

Моделювання з використанням операцій логіки проводиться по відношенню до стохастичних подій і процесів в СХТС суміщеними методами побудови «дерев відмов» (FTA - fault tree analysis) і «дерев подій» (ETA - event tree analysis) [149,160,174].

Спочатку на підставі даних аналізу небезпеки і працездатності (HAZOP) формалізуються і описуються причинно-наслідкові ланцюги подій в СХТС в формі «дерев відмов» (докладно описані в п. 3.2). Кількість «дерев відмов» відповідає всім розглянутим в HAZOP ініційованим аварійним подіям («верхнім подіям», наприклад: розгерметизація колони, руйнування судини високого тиску і т. п.). При побудові «дерев відмов» використовується низхідний метод аналізу, при якому «верхня подія» дерева є основним наслідком аварійних поєднань (причин), об'єднаних логічними операціями кон'юнкції для спільних подій і диз'юнкції для несумісних подій в гілках дерева відмов. Для одного i - го джерела небезпеки існує не менше одного «дерева відмов».

Верхня подія кожного «дерева відмов» може ініціювати (бути початковою) подією «дерева подій», але може ініціювати подією аварійного фізичного процесу, що призводить до втрат. У першому випадку будується бінарне «дерево подій», що відображає логіку і стохастичні показники надійності і ефективності засобів захисту. Виникаючі при висхідному аналізі гілки призводять в остаточному підсумку до різних аварійних фізичних процесів.

Моделювання ланцюгів подій для графа станів системи, що отримується шляхом низхідного аналізу і побудови логічного «дерева відмов» і висхідним аналізом і побудовою «дерева подій», дозволяє отримати зв'язну логічну структури подій, що призводять до різних сценаріїв аварій.

Такий підхід відрізняється від існуючих тим, що, завдяки комбінації і зв'язку відомих методів FTA і ETA, а також установки відповідності резуль-

тативних гілок ЕТА і математичних моделей детермінованих фізичних процесів дозволяють не тільки реалізувати причинно-наслідковий ланцюг подій, але і провести аналіз ланцюгів за алгоритмом, викладеному в п. 2.2 (див. рис. 2.3). Розроблені ланцюги об'єднуються в граф станів. Розрахунки можливих станів системи з використанням такого графа, на відміну від існуючих рангових методів і методів прямого математичного моделювання фізичних процесів, які становлять небезпеку, дозволяють врахувати як причинно-наслідкові зв'язки відмов та їх наслідків, так і просторово-часові особливості виникнення і розвитку аварійних подій з урахуванням стохастичних показників.

На рис. 2.1 представлена схема формування ІММ.



Рис. 2.1 Схема формування імітаційно-подієвої моделі

Пропонується використовувати методи, моделі та інформаційні технології для оцінки техногенного ризику, що відрізняються від існуючих комбінованим підходом до моделювання станів СХТС, що враховує враховує просторове взаємне розташування джерел небезпеки, причинно-наслідкові зв'язки між спільними і несумісними подіями і процесами в СХТС, сполучення між різними моделями. Застосування таких зв'язкових методів моделювання дозволяє автоматично отримувати інтегральні показники ризику (див. формули 2.1-2.4).

Інтегральні показники ризику нормовані і представлені в різних джерелах [6, 11, 25, 31,67,71,151,164].

До інтегральних показників ризику, обумовленого множинними незалежними джерелами небезпеки, в основному відносяться:

1. Імовірність ураження ($k = \{\text{смертельного, тяжкого, легкого}\}$) людини в результаті негативного впливу, що обумовлений j -ми аварійними процесами i -х джерел небезпеки:

$$P_t^k(x, y) = \sum_i \sum_j P_{ij}^k(x, y), \quad (2.1)$$

- територіальний ризик є просторовою характеристикою небезпеки

2. Імовірність поразки індивідуума з урахуванням його знаходження в просторі впливу уражаючих факторів протягом часу перебування:

$$P_t^k = \sum_s T_s(x, y) \cdot P_t^k(x, y), \quad (2.2)$$

де $T_s(x, y)$ - функція ймовірності знаходження індивідуума в s -зоні ураження в період часу, що відповідає рівню ризику P_t^k .

3. Очікуване число уражених:

$$Nm = \iint_{x, y} P_t^k(x, y) \cdot n(x, y) dy dx, \quad (2.3)$$

де $n(x, y)$ - математичне очікування розподілу щільності людей, що попадають до уражаючого впливу джерел небезпеки ОПН

4. Очікувані матеріальні збитки:

$$Um = \sum_i \sum_j Pf_{ij} \cdot Ud_{ij}, \quad (2.4)$$

де Pf_{ij} - ймовірність j -ї аварії i -го джерела небезпеки з заданими параметрами для ОПН; Ud_{ij} - значення можливого збитку, що настає при реалізації j -го сценарію аварії.

Пропонується визначати рівень прийняттого ризику як «надбавку» до характерного побутового ризику всіх його носіїв на підставі довірчого інтегралу для ймовірності, характерної для побутового ризику (див. п. 1.1).

В кожному окремому випадку прийнятний рівень ризику може бути переглянутий, за винятком встановленого в законодавчому порядку.

Прийнятність ризику економічних втрат визначається на основі аналізу наслідків і їх ймовірності, а також можливостей підприємства по ліквідації наслідків і відновлення. У разі очевидної неможливості вкладення коштів на ліквідацію наслідків і відновлення при можливих максимальних наслідках, ризик неприйнятний. У великій мірі це визначається страхуванням і можливістю акумуляції фінансових коштів. У будь-якому випадку, очікувані витрати на запобігання аварій не повинні перевищувати очікуваний збиток, інакше попереджувальні заходи є надмірними.

Показниками прийняттого ризику можуть вважатися критеріальні значення, що визначають:

- граничне значення припустимого територіального ризику Pt_L , визначається як вірогідність смертельного ураження людини на даній території протягом року;
- граничне значення припустимого індивідуального ризику PI_L , визначається як вірогідність смертельного ураження індивідуума в результаті можливого прояву небезпек від ОПН протягом року;
- граничне значення очікуваного числа уражених Nm_L протягом року в результаті можливого прояву небезпек від ОПН;
- значення граничного соціального (колективного) ризику Ps_L , що визначається зазвичай як ймовірність загибелі 10 і більше осіб;

- граничний очікуваний матеріальний збиток Um_L , значення якого визначається на підставі фінансових можливостей підприємства і страхових компаній.

Описані показники є вхідними обмежувачами простору допустимого ризику.

Для визначення основних показників ризику (ймовірностей подій і кількісних показників їх наслідків) необхідно моделювання техногенних процесів і обробка інформаційних потоків методами, що дозволяють виділити сценарії виникнення і розвитку аварійних ситуацій, в яких перевищені допустимі показники. На рис. 2.2 представлена схема етапів моделювання при застосуванні методів оцінки ризику, моніторингу поточного стану рівня небезпеки і показників надійності, а також процесу підтримки прийняття рішень щодо приведення рівня ризику ОПН до прийняттого.

Представлена на рис. 2.2 структура характерно спрямована від етапів вивчення ОПН до етапів моніторингу ризику. Така спрямованість лежить в основі методу синтезу імітаційно-подієвих моделей, розробленого автором дисертації.

Загальні інформаційні процеси розділені на кілька етапів:

- етап моделювання процесів виникнення і розвитку аварій призначена для локалізації завдання дослідження, збору та обробки вхідних даних і процесу формування знань про ОПН, території та об'єктах відповідальності, що дозволяють провести моделювання можливих негативних наслідків, що лежать в основі ризику. На цьому етапі реалізуються методи аналізу небезпеки і виробляються критеріальні значення прийняттого ризику для досліджуваних ОПН. В результаті створюється база знань небезпечних процесів на ОПН і визначаються кількісні показники надійності і ефективності засобів захисту і засобів подвійного призначення, формується основа для моделювання оцінки ризику;

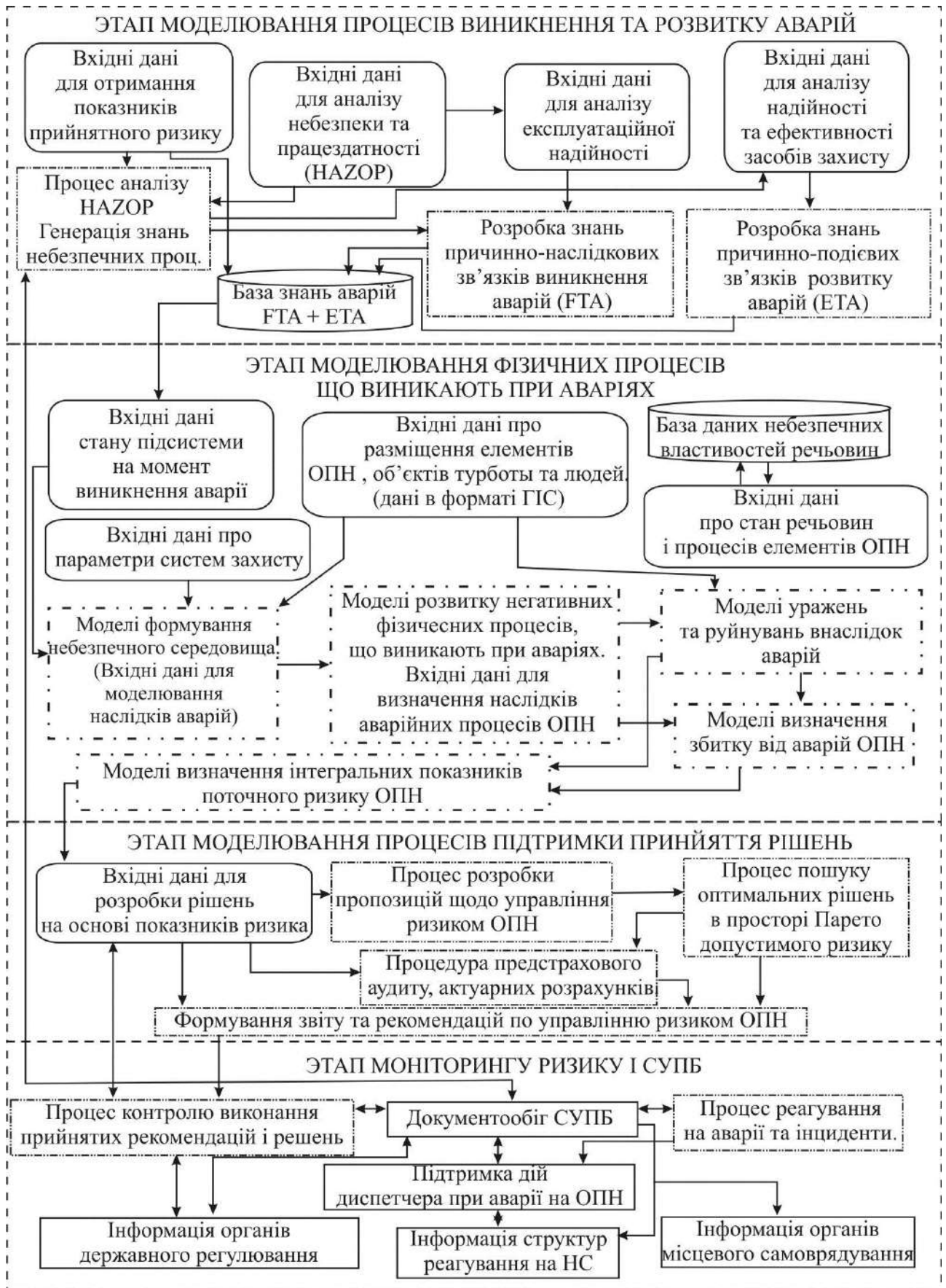


Рис. 2.2. Структурно-інформаційна модель процесів оцінки техногенного ризику ОПН

- етап моделювання фізичних процесів, що виникають при аваріях дозволяє застосувати вхідні дані, моделі виникнення і розвитку аварій і фізичних процесів, а також результати впливу на людей, об'єкти життєдіяльності для визначення можливих і очікуваних наслідків аварійних процесів на ОПН;

- етап моделювання процесів підтримки прийняття рішень забезпечує процеси розробки звіту і вироблення рекомендацій та вимог до корегування ризику ОПН і страхування відповідальності. На цьому етапі вибираються рішення, оптимальні в сенсі Парето і заходи щодо безпечного ведення технологічних процесів з урахуванням обмежувачів ризику;

- етап моніторингу ризику та СУПБ призначений для контролю і організації виконання прийнятих рішень і підтримки системи управління промисловою безпекою.

На відміну від існуючих інформаційних технологій, моделей і методів оцінки ризику, пропонована автором дисертації інформаційна технологія передбачає комплексне моделювання процесів оцінки ризику шляхом подієво спрямованої формалізації сценаріїв виникнення, розвитку та впливів процесів СХТС. При цьому синтез моделей здійснюється шляхом поєднання формальних методів математичної логіки і математичних моделей негативних фізичних процесів, що відбуваються в часі і просторі в послідовності, яка задається.

Складна хіміко-технологічна система описується і формалізується як дискретно-подієвий об'єкт (ДПО) до складу якого входять дискретні технологічні блоки і елементи, для яких зміни стану можуть викликати значні наслідки впливу і призвести до аварій з негативними наслідками, що перевищують припустимий рівень, певний як франшиза (або гранично допустимий рівень).

При цьому повний набір об'єднаних синтезованих моделей представляється як орієнтований подієвий граф.

На відміну від відомих методів дискретно-подієвого моделювання (DES - Discrete Event Simulation) [217] 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 пропонується нижченаведений математичний апарат.

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:

$$f(\alpha) \rightarrow^{dt} event \quad (2.5)$$

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. Метод обчислення ймовірності обчислюваної події відповідно до логічної формули висловлювання описаний в розділі 3.2. Логічні висловлювання між подіями-попередниками і подіями-наслідками формально описують незалежні і спільні події, що визначаються логікою, виявленої при аналізі небезпеки.

Наприклад: запис виду $(e2 \vee e3)e1 \wedge c \rightarrow^{dt_1} e4$ означає, що за умови виникнення істинного поєднання подій $e1$ і $e2$ або $e1$ і $e3$ через час dt_1 настає подія $e4$.

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

міновані події. Для аналізованих формальних описів СХТС характерні неоднорідні потоки подій $Te = \langle e_i | i = \overline{1, n} \rangle$, де події характеризуються якимись параметрами події p_1, \dots, p_k (ознаками його настання) $e_i = \langle t_i, p_1, \dots, p_k \rangle$, 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:

$$\forall e_i \in Te / \{e_1\} \exists! e_j \in Te \left((e_j \wedge c_j \rightarrow^{dt_j} e_i) \oplus (e_j \wedge c_j \rightarrow_{can}^{dt_j} e_i) \right), \quad (2.6)$$

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

Потоки подій можуть мати властивості таких, що перетинаються, таких, що не перетинаються, 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 вище формальні символічні представлення, 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 представляють собою алгебру подій і їх відповідностей. Така алгебра дозволяє в формальному вигляді імітувати поведінку складної дискретної системи як на рівні елементарних подій і впливів, що збурюють, так і на рівні процесів і явищ, що проявляються при виникненні і розвитку аварій. Запропонований формальний механізм дозволяє синтезувати, перетворювати і аналізувати подієві моделі в різних напрямках і розробити алгоритми авто-

матичних обчислень параметра графа станів, який є моделлю, що описує поведінку СХТС.

Далі пропонується інформаційна та математична модель оцінки техногенного ризику, що дозволяють формалізувати поставлену задачу. Представлені моделі і методи забезпечують гнучкий синтез імітаційних моделей для будь-яких технологічних ОПН в галузі застосування сукупності використовуваних моделей.

2.2 Інформаційна модель оцінки техногенного ризику

Описані вище положення реалізуються шляхом розробки форматів представлення інформації і формалізації процесу перетворення даних таким чином, щоб:

- отримати критеріальні параметри обмежувачів простору ризику $Rp = \{p_i\}$;
- оцінити поточні показники ризику, обумовленого експлуатаційними характеристиками сукупності досліджуваних ОПН для представлення ризику $R = \langle \mathcal{G}, P, D \rangle$;
- встановити відповідність між показниками ризику і вхідними елементами впливу на СХТС і переходів в стану по збуренням $In \subseteq B(O) \times P$, при цьому повністю визначена функція $In: B(O) \rightarrow P$. характеризує ймовірність переходу системи з одного стану в інший при відповідному збуренні (відмову або спрацьовуванні елементів СХТС);
- виділити підмножину аварійних ситуацій, що представляють неприйнятний рівень небезпеки $Am = \{a_j\}$;
- визначити ймовірність виникнення цих j – х ситуацій $Ps = \{ps_j\}$;
- визначити множину сценаріїв розвитку аварії з урахуванням ймовірності відмови (спрацьовування) k – х засобів захисту $Sc = \{pc_k\}$;

- визначити фізичні процеси, які становлять небезпеку Φ для сценаріїв Sc ;
- провести моделювання цих процесів і визначити кількісні показники втрат і інтегральні показники ризику;
- виділити підмножину аварійних ситуацій, відповідних неприйнятному рівню ризику $An = \{a_r\}$;
- провести аналіз причинно-наслідкових процесів виникнення і розвитку цих аварій і виділити множина 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 $Tr = \{t_{opt}\}$.

Схема моделі оцінки техногенного ризику представлена на рис. 2.3.

Вперше пропонується метод синтезу імітаційно-подієвої моделі, складових множини станів СХТС і відповідностей зв'язкових причинно-наслідкових подій (з урахуванням їх просторово-часових параметрів). Синтез імітаційної моделі відбувається в результаті встановлення відповідностей для заздалегідь створених баз знань дискретних «верхніх» подій «дерев відмов» (причин) і можливими наслідками розвитку подій (наслідків), представлених в «деревах відмов», з побудовою ланцюгів математичних моделей фізичних процесів, які розвиваються при цих подіях в просторі і часі.

Таким чином, формуються множини (ланцюга графа станів СХТС), що імітують сценарії виникнення і розвитку аварій і їх наслідків на ОПН з урахуванням ймовірності такої імітації, що є основою для математичного моделювання показників ризику.

Ланцюг імітації є конструкцією з повністю певним зв'язком між елементами, яка відображає сценарій розвитку подій, що визначені при HAZOP аналізі і має «ваги» ребер, які вираховуються як ймовірність просування подій за таким сценарієм. Приклад ланцюга імітації наведено на рис. 2.4.

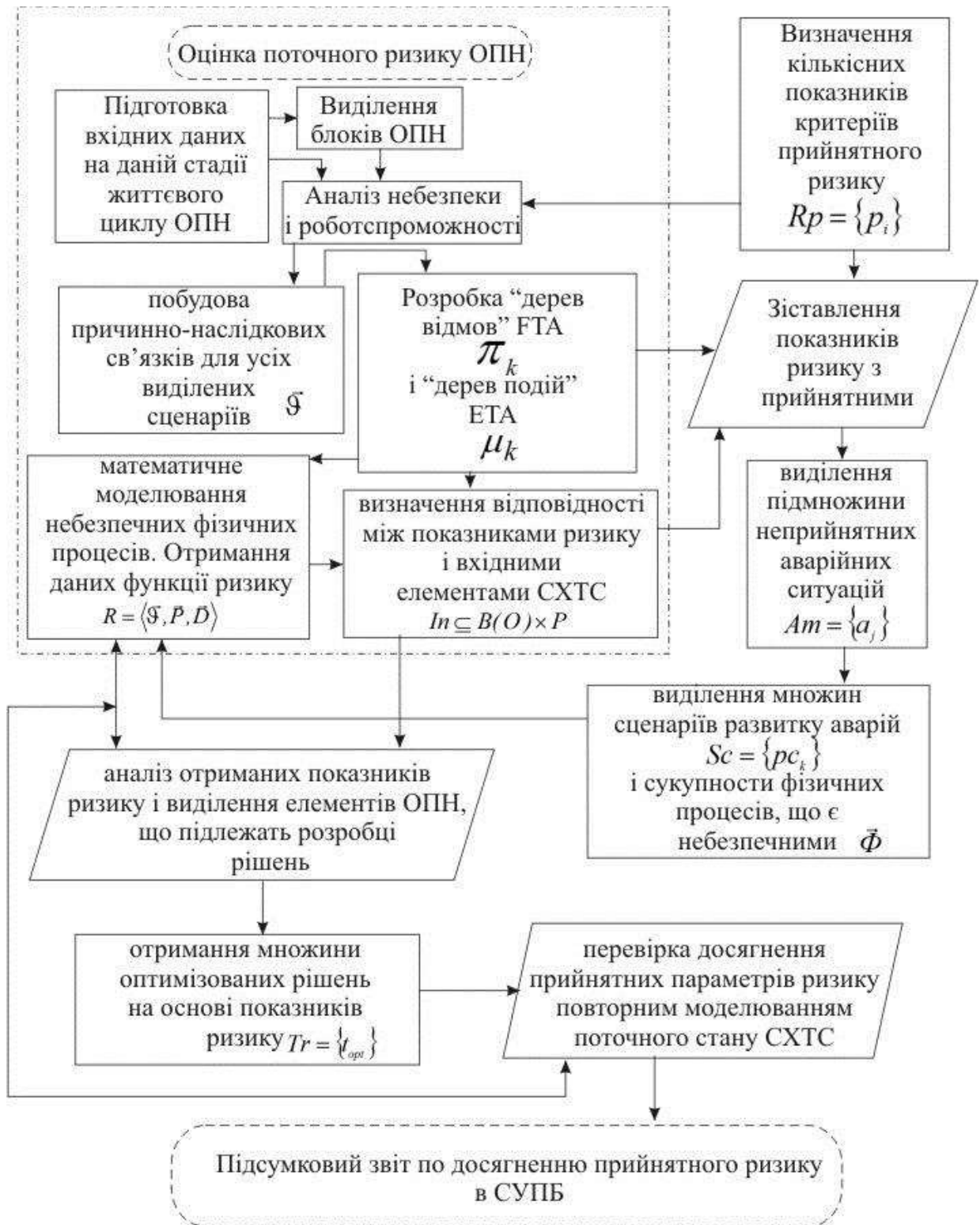


Рис. 2.3. Схема функціональної моделі оцінки ризику

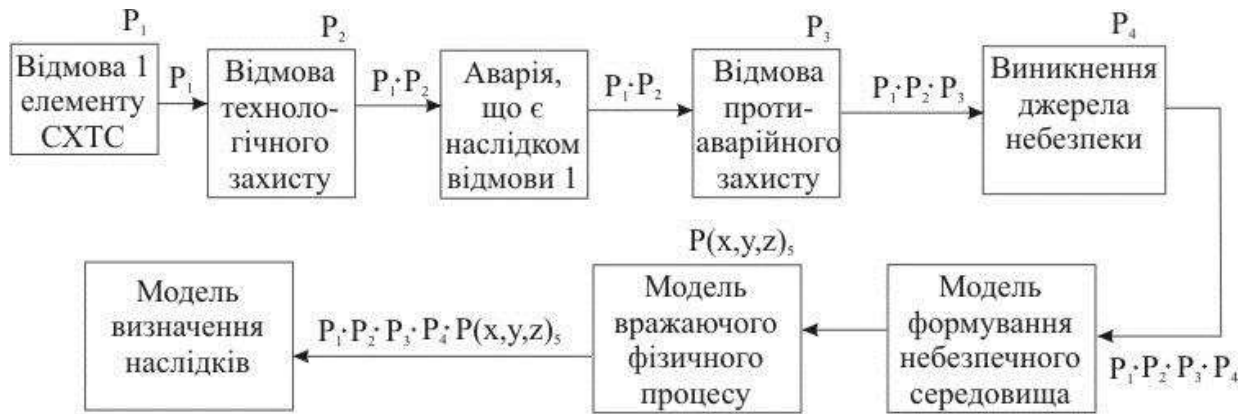


Рис. 2.4. Приклад структури гілки графа стану СХТС

Ланцюг, що розробляється є спрямованим, зв'язним, визначеним повністю і дозволяє отримати розрахунковим шляхом всі показники ризику. Сукупність ланцюгів з перетином підмножин станів СХТС формує елементи графа, представленого формулою 2.7. Синтез імітаційно-подієвих моделей здійснюється практично за рахунок сполучення вхідних і вихідних параметрів використовуваних в ланцюзі моделей шляхом опису структурованих даних причинно-наслідкових зв'язків. Узгодження даних забезпечується шляхом використання структурованих записів вхідних і вихідних параметрів окремих моделей в xml-форматі і постановки відповідності цих даних за напрямом «причина-наслідок».

Таким чином, запропонований механізм синтезу моделей дозволяє об'єднати логічні моделі причинно-наслідкових подій і моделі фізичних процесів в єдину інформаційну технологію, яка на відміну від існуючих дозволяє створити імітаційно-подієву модель графа станів дискретної системи множинних джерел небезпеки і проводити спрямовані розрахунки, що забезпечують визначення основних інтегральних показників ризику, а також проводити аналіз процесів і подій, які цей ризик зумовили.

2.2.1 Математична модель оцінки техногенного ризику

Узагальнена математична модель оцінки техногенного ризику базується на специфічній обробці даних представлених кортежем:

$$MTR = \langle Tr, R, In, F(m), Tr, M, M_{acc} \rangle, \quad (2.7)$$

де $Tr = \{tp_j\}$ - множина технологічних блоків і елементів СХТС, що належать виділеним ОПН;

R - функція ризику, характерного для елементів ОПН, що розглядаються;

$In \subseteq B(O) \times P$ - відповідність між вхідними елементами блоків ОПН і ймовірності переходів в аварійні стани по збуренням;

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

$Tr = \{tr_a\}$ - множина рішень щодо елементів СХТС (що впливають на ризик системи) по зниженню ризику;

$M = \{mp_z\}$ - множина наслідків аварійних процесів $z \in 1 \dots A$, що є характерними для досліджуваних джерел небезпеки (блоків ОПН).

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

Завдання формалізується наступним чином:

Функція ризику представляється як:

$$R = \langle \mathcal{G}, P, D \rangle, \quad (2.8)$$

де \mathcal{G} - множина 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 -й 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 -й підсистемі при НС:

$$fe_{ij} : \vec{S}_{ij} \rightarrow \vec{\Phi}_{ij}, j = 1..J, \quad (2.9)$$

де J - (набір елементарних подій, що призводять до аварії), \vec{S}_{ij} - вектор параметрів, що визначає початковий стан i -й підсистеми; $\vec{\Phi}_{ij}$ - вектор фазових змінних елементарних фізичних процесів, які можуть виникнути в i -й підсистемі при аварії;

- модель для оцінки ймовірності виникнення стохастичних елементарних подій: $Pr_{ij} : (\vec{S}, \vec{\Phi})_{ij} \rightarrow \vec{P}_{ij}, j = 1..J$, де $\vec{P}_{ij} = [P_{ij}^{des}, P_{ij}^{ded}]$ - 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 -й підсистемі в формі «дерева відмов»

$$\pi_k : (\{\vec{P}_{ij}\}, \vec{Q}_k) \rightarrow \vec{P}_{ki}, \quad (2.10)$$

- імітаційну модель (дискретно-подієву) розвитку аварії в формі «дерева подій»

$$\mu_k : (\{S, \Phi, \vec{P}_k\}_i, \vec{Q}_k) \rightarrow \vec{D}_{ki}, \quad (2.11)$$

де $S_i = \{\vec{S}_{ij}\}$, $\Phi_i = \{\vec{\Phi}_{ij}\}$, $\vec{D}_k = \sum_i \vec{D}_{ki}$ - 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.

Імітаційно-подієва модель дозволяє отримати кількісні показники ризику шляхом імітації реалізації подій графа із заданою частотою (ймовірністю) вихідних (ініціюючих) подій. Приклад фрагмента імітаційно-подієвої моделі станів СХТС наведено на рис. 2.5.

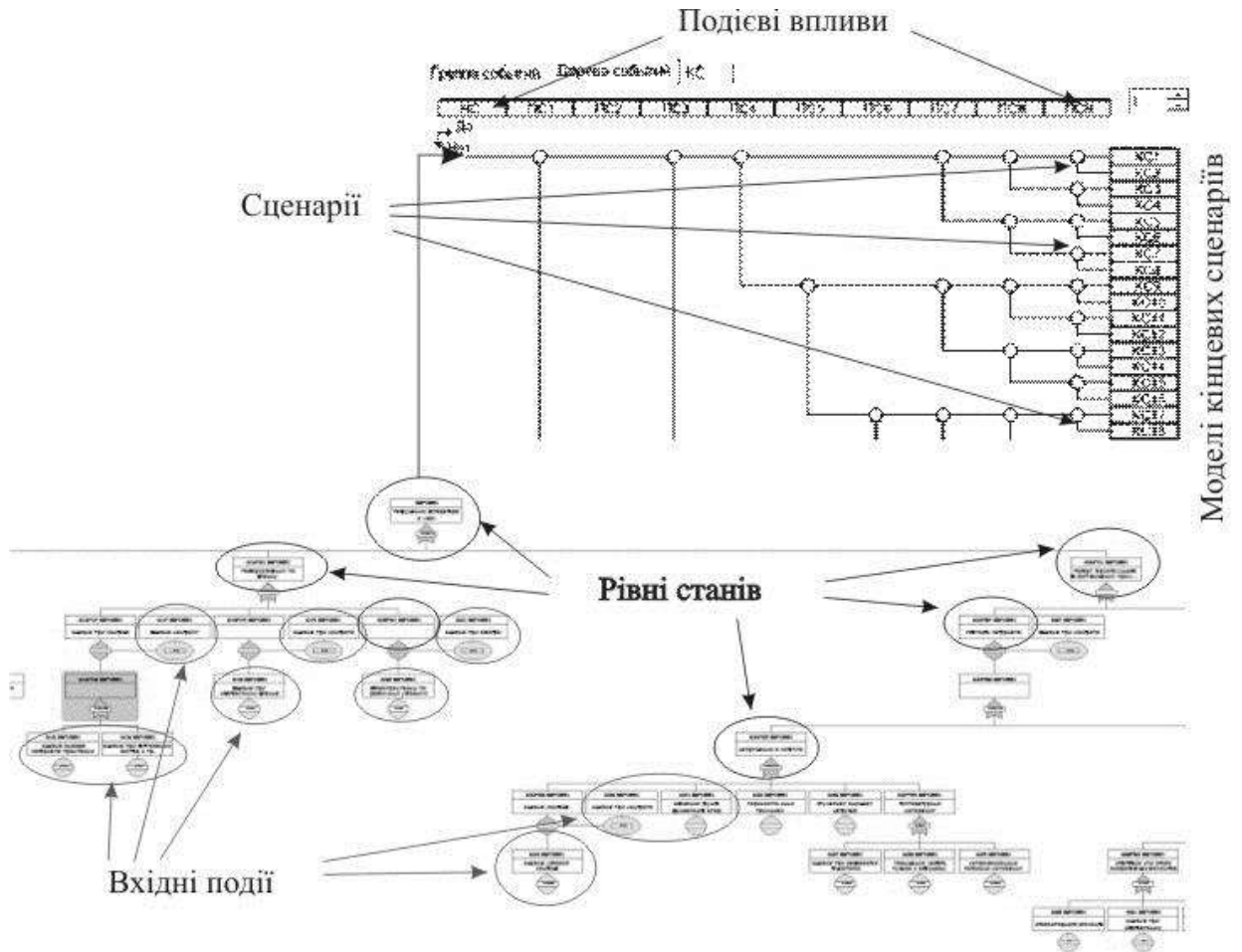


Рис. 2.5. Фрагмент зв'язків відповідності в імітаційно-подієвій моделі станів СХТС

Моделі кінцевих сценаріїв розвитку аварій засновані на математичному моделюванні фізичних процесів (див. формулу (2.9)) і входять до складу графа станів шляхом встановлення послідовного сполучення вхідних і вихідних параметрів моделей. Приклад такого ланцюга відповідності наводиться в п. 5.1 рис. 5.2. При цьому ланцюги графа зберігають вагові коефіцієнти, що відображають рівень надійності елементів СХТС.

Необхідно врахувати, що цільові функції в багатопараметричному просторі мають протилежну спрямованість. У зв'язку з цим необхідно застосовувати методи домінування по Парето для пошуку домінуючих рішень. Завдання передбачає значні труднощі. Методи спрощення рішень описані далі.

Завдання багатокритеріальної оптимізації [216] розглядається як завдання одночасної оптимізації всіх частинних критеріїв. Потрібно знайти набір рішень $\bar{x} \in X$, який в деякому сенсі мінімізує всі ці критерії. Іншими словами, розглядається наступна оптимізаційна задача: $g^{(k)}(\bar{x}) \rightarrow \min$, $k = \overline{1, N}$, при умові $\bar{x} \in X$. При цьому критерії $g^{(k)}(\bar{x})$ є *частинними критеріями*. Їх сукупність можна розглядати як векторний критерій $G(\bar{x}) = (g^{(1)}(\bar{x}), \dots, g^{(N)}(\bar{x}))$ і він підлягає оптимізації (за кожною окремою або частинною компонентою).

Ідеальною ситуацією при вирішенні задач багатокритеріальної оптимізації є випадок, коли перетин множин оптимальних рішень для всіх частинних критеріїв не є порожнім. Таку множину позначають у такий спосіб:

$$\bigcap_{k=1}^N \operatorname{Arg} \min_{\bar{x} \in X} g^{(k)}(\bar{x}) \quad (2.12)$$

Якщо вказана множина не є порожньою, то його ж альтернативи є *абсолютними* рішеннями. Насправді в реальних ситуаціях розраховувати на таке «везіння» годі й говорити. Більш того, одні частинні критерії можуть суперечити іншим.

Отже, потрібно шукати компромісне рішення, найкраще в деякому сенсі. В дисертації пропонується відповідний підхід до його знаходження і поняття найкращого рішення формалізується на основі додаткового *критерію вибору* (в подальшому буде показано, як застосовується метод використання коефіцієнтів значущості). Як правило, таке компромісне рішення намагаються знайти в класі так званих ефективних рішень (їх також називають ефективними за Парето рішеннями, переговорною множиною або просто множиною Парето).

Треба 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 частинних критеріїв.

Необхідно:

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

$$D_k^* = D_k \setminus M_{acc} = \{d / d \in D_k \text{ и } d \notin M_{acc}\} \quad (2.13)$$

2. Якщо виділена множина не є порожньою, для всіх її елементів необхідно провести процедуру пошуку рішень із застосуванням методів, що дозволяють виділити рішення, оптимальні в сенсі Парето [216].

Як метод просування до фронту Парето (множини оптимальних по Парето рішень *Pareto-frontier*) пропонується використовувати відносини переваги \succ_X , котре задано для множин можливих рішень: $f(x') \succ_Y f(x'') \Leftrightarrow x' \succ_X x''$ для будь-яких порівнюваних рішень $x', x'' \in X$

Використовуючи в якості елементів *векторного критерію* набір частинних критеріїв $g^{(k)}(\bar{x})$ формується завдання багатокритеріального вибору, що включає: множина можливих рішень X ; векторний критерій f ; відносини переваги \succ_X , визначаються «особами, які приймають рішення», в якості яких виступають експерти, які оцінюють ризик ОПН.

Переваги визначаються виходячи з уявлень важливості частинних критеріїв оптимізації. Зокрема, при перевазі максимального зменшення можливості виникнення аварії, вперше пропонується використовувати методи аналізу дерев відмов з використанням **коефіцієнтів значущості**. Якщо наступним пріоритетом встановлена вартість засобів захисту, то вектор виділеної множини D_k^* сортується по зростанню ціни і виділяється підмножина рішень по засобах захисту, вартість яких лежить в межах обмежувача пере-

ваги. Далі вибирається наступний критерій переваги і проводиться подальший аналіз всередині виділеної підмножини або послідовними угрупованнями, або іншими методами, встановленими відповідно до цілей дослідника.

Таким чином, вперше запропоновано використовувати коефіцієнти значущості (для імітаційно-подієвих моделей) і метод послідовних угруповань (для пріоритетів частинних критеріїв) в області відносин переваги вектору частинних критеріїв для пошуку множини рішень, оптимальних в сенсі Парето.

2.2.2 Структурна модель оцінки техногенного ризику

Для оцінки поточного техногенного ризику на заданому етапі життєвого циклу ОПН необхідно визначити мету дослідження і структурувати дані таким чином, щоб встановилася точна взаємозв'язок між вхідними даними, всіма етапами дослідження, використовуваними моделями, отриманими результатами, методами аналізу і підсумковими показниками дослідження. Таким чином, необхідно забезпечити структурну стійкість дослідження.

Перш за все необхідно ідентифікувати об'єкт як ОПН. Для цього директивою Seveso III [180] передбачена процедура класифікації підприємств (стор. 3, Додатку 1) по «нижчому» і «вищому» рівням небезпеки. Первісна ідентифікація проводиться шляхом порівняння характеристик і кількостей небезпечних речовин, що обертаються у виробництві, зберіганні та транспортуванні з табличними даними, представленими в додатках директиви Seveso III. Важливо враховувати об'єкти, що становлять загрозу одночасно великій кількості людей. Наприклад, використання газових балонів у великому концертному залі або місці скупчення людей. У разі аварії на такому об'єкті можливо одночасне ураження великої кількості людей.

Структурна модель ідентифікації ОПН по Seveso III і процесів інформаційного забезпечення представлена на рис. 2.6.



Рис. 2.6. Структурно-функціональна модель інформаційного забезпечення за вимогами директиви Seveso III

Інтерактивний процес оцінки ризику і його приведення до прийняттого відповідно до вимог директиви Seveso III представлений на рис. 2.7.

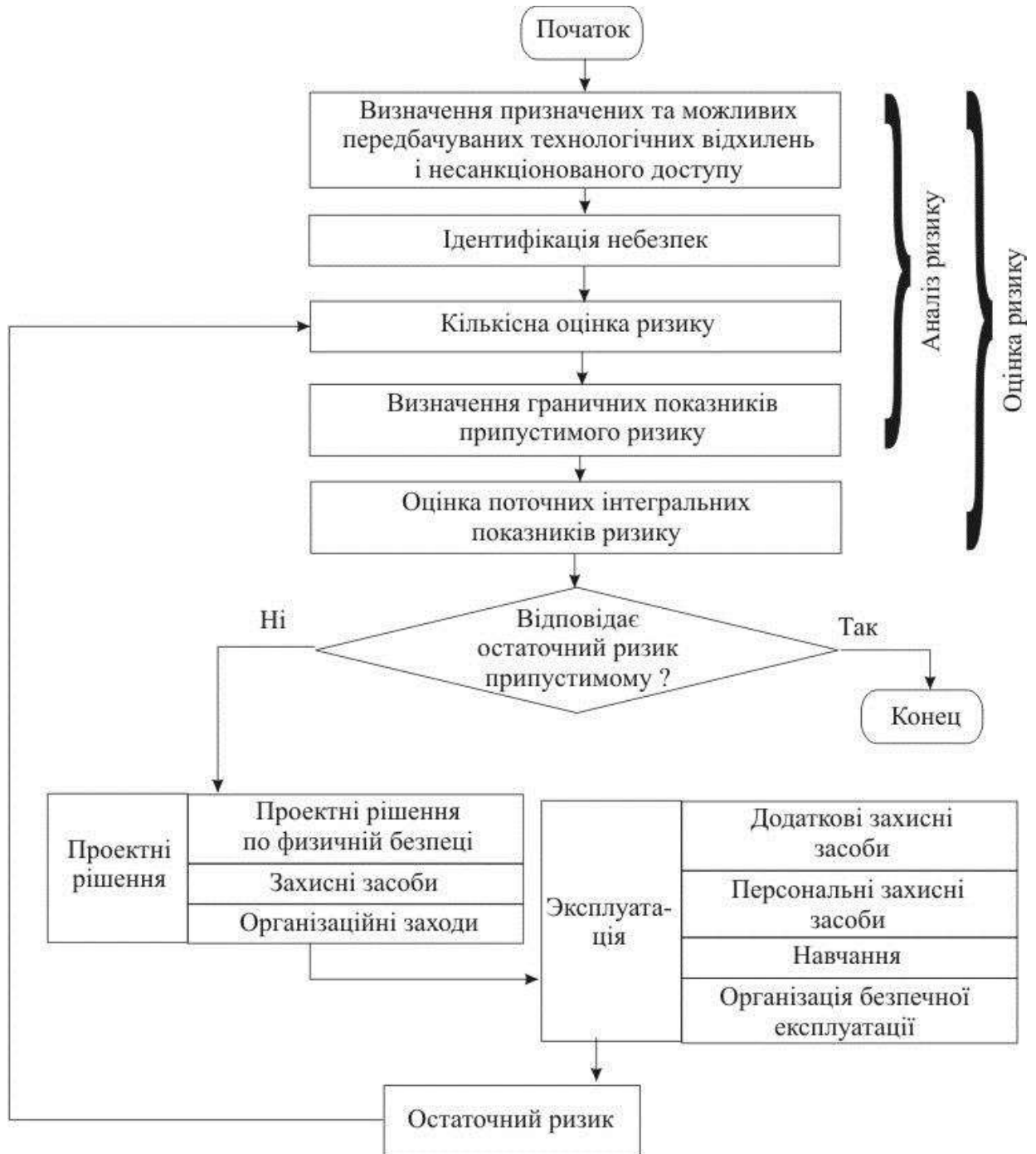


Рис. 2.7. Інтерактивний процес оцінки ризику і його приведення до прийняттого

Безпосередньо оцінка ризику поточного ОПН (підприємства) здійснюється на підставі результатів ідентифікації ОПН в рамках реалізації політики запобігання аварій (МАРР). Вимоги до методів і повноті оцінці поточного ризику досліджуваних об'єктів викладені в керівних документах [181-184].

Отримані в результаті оцінки ризику інтегральні показники є не тільки порівнюваними з граничними величинами, але можуть аналізуватися протягом усього ланцюга відповідностей графа стану, а також порівняльного аналізу ланцюгів графа, що дозволяє виявляти найбільш впливаючі події на загальний стан безпеки дискретної системи СХТС. Це суттєва перевага пропонованої інформаційної технології в порівнянні з існуючими ранговими методами або фрагментарними методами і моделями оцінки показників ризику.

2.2.3 Структурна інформаційна модель моніторингу ризику

Основною метою моніторингу ризику є виявлення змін і відхилень в поточному стані ризику протягом всієї тривалості моніторингу в період між процедурами внутрішнього аудиту техногенного ризику ОПН. Крім того, результатом моніторингу техногенного ризику повинна бути реакція на події та процеси, що підвищують показники ризику вище припустимих. В основному ця реакція проявляється у вигляді ініціації і проведення профілактичних ремонтно-відновлювальних робіт (РВР). Основною метою при цьому є реалізація не тільки принципу ALARP (див. розд. 1.5.1, 2.1), а й реалізація РВР за принципом «ремонт за станом» (див. розд. 1.4.3). У зв'язку з цим в процесі моніторингу періодично проводяться процедури РВІ-аналізу для тих елементів СХТС, які змінюють або можуть змінити показники надійності.

Моніторинг ризику здійснюється в рамках політики промислової безпеки підприємства, є частиною СУПБ і полягає в постійному або періодич-

ному зборі та обробці інформації, яка необхідна для підтримки процесу прийняття рішення і поліпшення його показників, а також, для оповіщення керівництва (суб'єктів місцевого самоврядування) або безпосередньо як за-сіб здійснення зворотного зв'язку з метою реалізації проектів, оцінки про-грам розвитку або вироблення правил і методів політики безпеки. Він здійс-нює одну або більше функцій:

- виявляє знаходяться в критичному або в стані зміни процесів на виро-бництві, щодо яких виробляється набір дій на майбутнє;
- встановлює відносини з суміжними учасниками безпеки, ніж забезпе-чує зворотний зв'язок, щодо попередніх успішних процесів і провалів певної політики або проектів;
- встановлює необхідні відповідності нормативним вимогам і правилам, а також зобов'язанням, визначеним в контрактах.

Моніторинг стану рівня промислової безпеки призначений для реалі-зації всіх трьох функцій і повинен бути організований на основі чітко ви-значених критичних показниках. Дані показники (локальне число) виявля-ються і описуються в процесі аналізу вхідних даних СУПБ і аналізі небезпе-ки і ризику для всіх об'єктів підвищеної небезпеки, що експлуатуються на виробництві. Кожному показнику присвоюється кількісне або якісне зна-чення (критичний рівень) або кілька значень, подолання яких дає можли-вість робити висновок про необхідність прийняття рішення щодо процесу, що характеризується набором аналізованих параметрів.

Критичні значення параметрів узгоджуються з замовником, фахівця-ми, які проводять аналіз ризику, нормативними вимогами.

Всі параметри повинні бути присутніми в документах СУПБ і базах даних.

Звітність реалізується як вручну вибіркою з представлених в СУПБ документів заданого формату, так і *генерується автоматично* зі списку ша-блонів і умов генерації, представленої в фільтрах систем електронного до-кументообігу (СЕД). Всі шаблони звітів повинні бути розроблені в процесі

виконання договору по розробці СУПБ і внесені в базу даних. Поля шаблонів повинні вибиратися на основі запитів фільтрів системи, що настроюються користувачами. При повній автоматичній генерації звітів на підставі логічної вибірки або (і) синхронізації процесів в реальному часі шаблон звіту вибирається на підставі логіки процесу і його поля автоматично наповнюються з даних документів СУПБ, представлених в базі даних і при наявності синхронних полів всередині самих документів.

Питання розробки шаблонів звітності, логіки їх складання та подання (просування) в СУПБ описуються таким чином, щоб можливо було скласти таблиці БД шаблонів і бази знань вибірок і узгоджуються з замовником.

СЕД повинна мати можливість створення, наповнення та редагування баз даних і баз знань СУПБ.

Важливу роль моніторингу ризику грає визначення поточного стану надійності та залишкового ресурсу елементів СХТС.

Для тих технологічних елементів (представлених в «деревах відмов»), які впливають на рівень ризику ОПН в значній мірі, необхідно довизначити показники надійності (ймовірність несправності).

Дані про надійність окремих компонент СХТС, ступеня підготовки технічного персоналу необхідно реалізувати з використанням спеціальних опитувальних листів. Можливо, використовувати паспортні дані окремих елементів ОПН або середньостатистичних даних, опублікованих у відповідних документах.

Структура інформаційного процесу моніторингу ризику представлена на рис. 2.8.

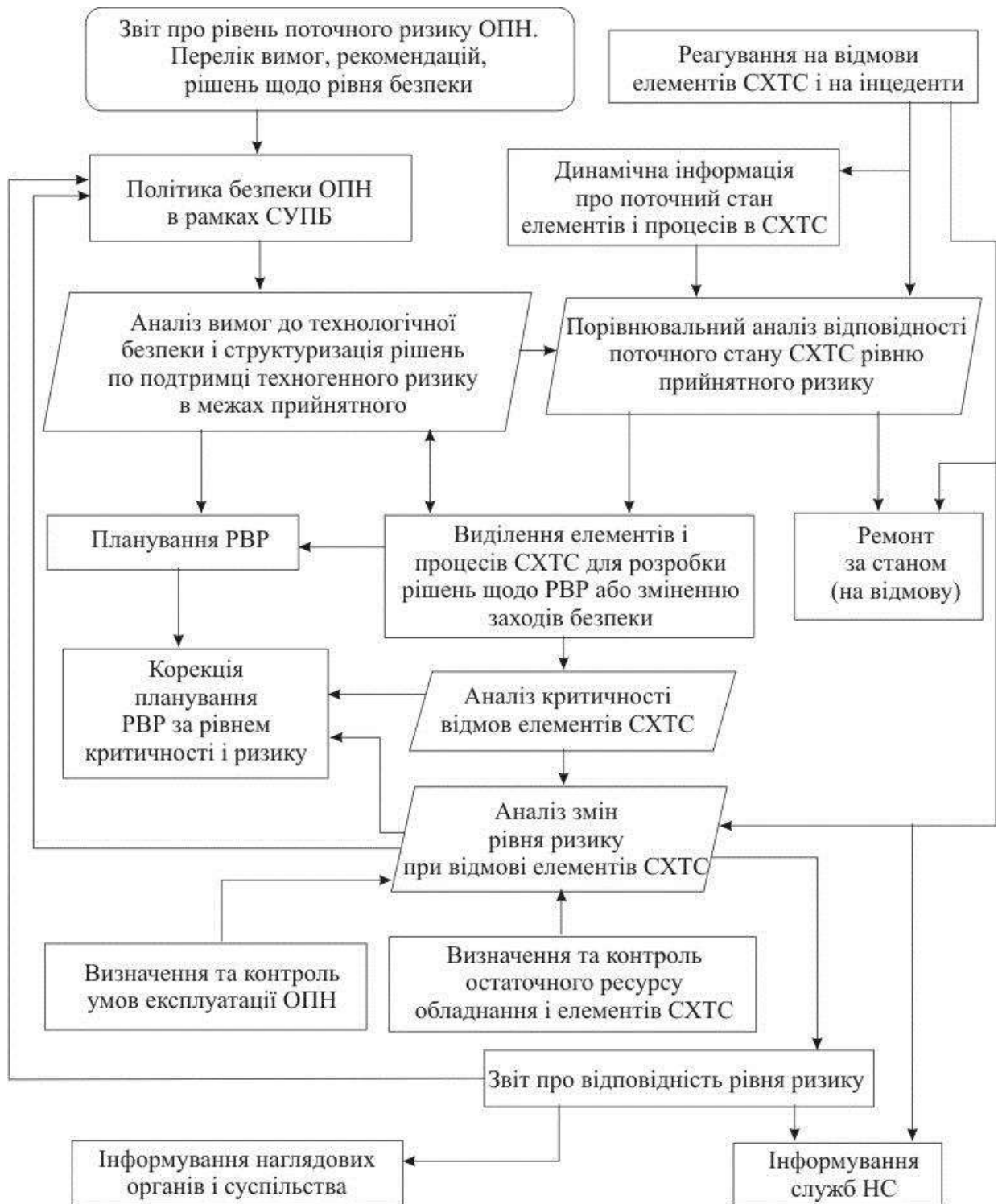


Рис. 2.8. Інформаційний процес моніторингу ризику в структурі СУПБ

Для більшості елементів СХТС, що беруть участь в стохастичних процесах дані про надійність можуть бути отримані в такий спосіб:

Для кожного виділеного елемента, для якого необхідно дізнатися ймовірність його відмови, необхідно зібрати наступні дані:

T_a – середній час напрацювання на відмову обладнання (апарата, пристрою), ч;

λ_a – середня інтенсивність потоку відмов досліджуваних елементів (пристроїв), 1/ч;

$$T_a = \left(\sum_{i=1}^N T_i \right) / N; \quad \lambda_a = 1 / T_a, \quad (2.14)$$

де T_i – дійсно відпрацьований час в i -му періоді, год.;

N – кількість відмов, яке виявлено за період випробувань (час роботи).

При цьому :

$$Q(t) = \exp(-\lambda_a t), \quad (2.15)$$

де $Q(t)$ - ймовірність безвідмовної роботи протягом часу t .

Ймовірність відмови протягом часу t :

$$P(t) = 1 - \exp(-\lambda_a t), \quad (2.16)$$

Індивідуальність кожного елемента технологічного обладнання ОПН проявляється у відмінностях технологічних параметрів і режимів експлуатації, умов навантаження, конструкції і матеріального виконання елементів системи. Контроль технічного стану обладнання найбільш доцільний при виконанні робіт, необхідних для оцінки ймовірності (частоти) аварій і ризику для обладнання, яке експлуатується досить великий час.

Якраз на цій стадії життєвого циклу складної технологічної системи небезпечно ігнорувати пошкодження, "відмови", накопичені в процесі його реальної експлуатації, що може істотно спотворити результати оцінки ризику, знизити їх об'єктивність і перешкодити процесу розробки коригувальних впливів на ОПН.

Інтенсивність відмов елементів обладнання в початковий період має більш високе значення, що перевершує поточне в кілька разів, тобто $\lambda(t) = n\lambda_0(t)$. У міру їх підробітки за період часу, який називається середньостатистичним часом прояви прихованих виробничих дефектів в матеріалі і конструкції, інтенсивність відмов знижується до певного «порогового» значення і з нього виходить на період так званої «нормальної» експлуатації.

Для спрощення математичного опису зниження інтенсивності відмов за час t , можливо прийняти залежність інтенсивності відмов від напрацювання лінійної, яка має вигляд

$$\lambda(t) = \left(n - (n-1) \frac{t}{T_p} \right) \lambda_o, \quad 0 < t \leq T_p, \quad (2.17)$$

тоді ймовірність безвідмовної роботи буде відповідати вислову:

$$P_B(t) = \exp \left(- \int_0^t \lambda_o(t) dt \right) = \exp \left(- \left(nt - \frac{(n-1)t^2}{2T_p} \right) \lambda_o \right); \quad (2.18)$$

$$0 < t \leq T_p$$

У свою чергу, маючи в своєму розпорядженні значенням ймовірності безвідмовної роботи щодо раптових відмов, маємо можливість визначити інтенсивність відмов по залежності:

$$\lambda_o = - \frac{\ln P_B(t)}{nt - \frac{(n-1)t^2}{2T_p}} \quad (2.19)$$

Оцінку рівня надійності можна проводити на основі статистичних даних міцності конструкційних матеріалів, геометричних параметрів і навантажень, що діють на елементи конструкції, умов експлуатації і технології виробництва. При цьому, передбачається системний підхід типу "деталь - елемент пристрою - виріб".

Для цього були прийняті експлуатаційні навантаження, що діють на елементи конструкції технологічного обладнання (S) і несучу спроможність по міцності (R) і по деформації (Q), які є випадковими величинами.

У роботі було прийнято умова, що раптові і поступові відмови деталей - події незалежні, а з'єднання деталей по структурній схемі надійності для технологічного обладнання послідовне, що дозволило представити ймовірність безвідмовної роботи технологічного обладнання в наступному вигляді:

$$P_{\Phi}(t) = \prod_1^N P_{ib}(t) P_{III}(t), \quad (2.20)$$

де $P_{ib}(t)$, $P_{iil}(t)$ - ймовірності безвідмовної роботи технологічного обладнання щодо раптових і поступових відмов їх елементів конструкції;

N - кількість елементів конструкції технологічного обладнання.

Для прогнозу ймовірності безвідмовної роботи технологічного обладнання щодо раптових відмов цілком застосовна заснована за принципом "технологічної невизначеності" модель типу "узагальнене навантаження - несуча здатність". Оскільки обидві величини характеризуються математичним очікуванням і середньоквадратичним відхиленням вираз формалізовано наступної математичної залежності:

$$P_B(t) = 1 - \frac{1}{4} \left[\Phi(n) - \Phi\left(\frac{R_{min} - S}{\sigma_S}\right) \right] \left[\Phi(m) - \Phi\left(\frac{R - S_{max}}{\sigma_R(t)}\right) \right], \quad (2.21)$$

де S , σ_S - математичне очікування і середньоквадратичне відхилення узагальненої навантаження;

R , $\sigma_R(t)$ - математичне очікування і середньоквадратичне відхилення несучої здатності;

$$\Phi(z) - \text{функція Лапласа } \Phi(z) = \frac{(1 + \operatorname{erf}(z/\sqrt{2}))}{2};$$

R_{min} - мінімальне очікуване значення несучої здатності;

S_{max} - максимальне очікуване значення узагальненої навантаження.

Особливістю даної моделі від існуючих є застосування функції Лапласа з метою кількісного визначення небезпечного перетину щільності розподілу навантаження і несучої здатності, а також введенням залежності зниження рівня "технічної невизначеності" від напрацювання на відмову технологічного обладнання.

Зниження "технологічної невизначеності" було формалізовано у вигляді [219]:

$$\sigma_R(t) = \sigma_{R0} e^{-t_u / k_{IP} T_P}, \quad (2.22)$$

де σ_{R0} - середньоквадратичне відхилення в початковий момент функціонування технологічного обладнання;

t - час функціонування технологічного обладнання;

T_p - середньостатистичний час виявлення або прояви прихованих виробничих дефектів в матеріалі і конструкції технологічного обладнання;

K_{np} - коефіцієнт виявлення дефектів.

Результати обстеження технічного стану технологічного обладнання показують, що основною причиною порушення міцності є інтенсивний корозійний знос і малоциклову втому.

Таким чином, ймовірність безвідмовної роботи технологічного обладнання щодо поступових відмов оцінювалася за формулою:

$$P_{\phi n}(t) = \sum_{i=1}^k P_k(t) P(t)_{ycm}, \quad (2.23)$$

де $P_k(t)$, $P(t)_{ycm}$ - ймовірності безвідмовної роботи корозійних процесів і втомних руйнувань.

В силу того, що рівнозначні чинники досить різноманітні і на підставі центральної граничної теореми можна стверджувати, що ймовірність безвідмовної роботи щодо корозійних процесів буде відповідати такому вираженню [219]:

$$P_k(t) = \frac{1}{2} \left[1 + \Phi \left(\frac{\mu_{\Pi i} - \alpha_i t}{\sigma_i t} \right) \right], \quad (2.24)$$

де α_i - середня швидкість процесу корозії;

$\mu_{\Pi i}$, t - граничне значення товщини стінок, що забезпечує "міцність" технологічного обладнання, і період функціонування.

Таким чином, наведені вище моделі дозволяють прогнозувати надійність технологічного обладнання, але для цього необхідно встановити перелік деталей, що визначають його надійність, встановити характеристики міцності і гранично допустимі параметри і їх динаміку.

Загальна структура формування опорного рівня надійності технологічного обладнання прийнята такою:

- аналіз складальних одиниць системи, що лімітують його надійність;

- синтез складальних одиниць в єдину компоновану схему;
- оцінка безвідмовності і довговічності на основі конструкційних і технологічних параметрів і їх взаємодії з навколишнім середовищем.

Надалі на основі компонованої схеми формується система, що складається на першому рівні з складальних одиниць, а на другому, відповідно, деталей, що визначають рівень надійності за результатами статистичного аналізу відмов з урахуванням умов експлуатації резервуарів та обладнання.

Алгоритм оптимізації повинен концептуально враховувати:

- розташування ОПН, що визначає фізико-географічні та кліматичні умови експлуатації технологічного обладнання, а також інтенсивність його використання в напружених режимах;

- динаміку надійності технологічного обладнання в залежності від міцності властивостей матеріалу і конструкції, а також умов експлуатації для прогнозу кількості відмов технологічного обладнання в періоди підробітки і в кінці експлуатації;

- вартісні параметри будівництва або реконструкції ОПН, залежні від їх кількісного і якісного складу, і виступають в якості цільової функції оптимізації;

- вимоги промислової безпеки до технологічного устаткування, що виступають в якості обмеження.

Оскільки, як було наведено вище, в умовах невизначеності та випадковості зовнішніх і керуючих впливів для складних людино-машинних систем можлива тільки порогова оптимізація, яку необхідно здійснювати по комплексному критерію «ціна-безпека-вигода» з аналізом запасу за ризиком і допустимих значень ризику персоналу об'єкта з урахуванням тенденції їх зміни в часі.

Інформація по надійності обладнання може бути представлена в технічній документації, науково-технічній літературі, звітах по дослідженню надійності.

Для діючого на виробництві обладнання можна скористатися даними в журналах ремонту, обслуговування і т. д.

При обробці експлуатаційної надійності визначаються T_a , λ_a , $P(t)$, $Q(t)$ і довірчі межі показників надійності при довірчій ймовірності $\alpha=0,9$.

Зазвичай визначається ймовірність відмови протягом одного року (8760 годин), проте період нормування може приводитися до необхідного часу безперебійної роботи і інших значень, що визначаються експертом.

При цьому підсумковими є показники верхньої межі ймовірності відмови $P_u(t)$, середнього значення $P(t)$ і нижньої границі $P_l(t)$. Діапазон між нижньою і верхньою межею ймовірності відмови представляє невизначеність.

Значення довірчих кордонів отриманих оцінок визначаються за допомогою коефіцієнтів, наведених у таблицях r_1 , r_3 , r_0 експоненціального розподілу [185].

Значення коефіцієнтів r_1 , r_3 визначається в залежності від кількості відмов, зафіксованих за період спостереження T (фактично відпрацьований час)

$\lambda_u = \lambda_a / r_3$ - частота верхнього довірчого інтервалу.

$\lambda_l = \lambda_a / r_1$ - частота нижнього довірчого інтервалу.

Якщо за період спостереження не виявлено жодної відмови, то визначається тільки верхнє значення $\lambda_u = \lambda_a / r_0$. Для цих значень визначаються ймовірності відмови. Рекомендується проводити збір експлуатаційної інформації про роботу обладнання за період експлуатації (період спостереження близько 5 років).

Збір інформації про експлуатацію проводиться на експлуатується підприємстві для конкретних установок і полягає в пошуку даних про реальний повному часу роботи певного типу обладнання і кількості несправностей протягом періоду спостереження.

Основні джерела інформації: журнал ремонтних робіт; журнал прийому-видачі обладнання в ремонт (з ремонту); звіт керівника об'єкта або відповідального за експлуатацію, обладнання та ін.

2.3 Модель процесу підтримки прийняття рішень

Прийняття рішень щодо техногенного ризику ОПН засноване на виробленні технічних, економічних, організаційних заходів, що дозволяють експлуатувати ОПН в межах показників прийняттого ризику. При цьому процес формалізується наступним чином:

1. Локалізується простір в якому можливе прийняття рішень, обмежене гранично допустимими показниками ризику. Причому встановлюються як кількісні показники окремих обмежуючих параметрів (такі як граничне значення територіального, індивідуального, соціального ризику $P^{lim} = [P_t^l, P_i^l, P_{soc}^l]$), так і багатопараметричні обмежувачі, такі як очікуваний збиток, зазвичай визначається як:

$$D^* = \sum_{i=1}^N P_i \cdot D_i, \quad (2.25)$$

де P_i - ймовірність настання i -ї аварії;

D_i - інтегральний масштаб наслідків (зазвичай в грошовому вираженні) в результаті реалізації i -ї аварії (можливий збиток);

N - кількість всіх розглянутих аварій для ОПН, щодо якого приймається рішення.

Необхідно врахувати, що деякі обмежувачі (наприклад, територіальний ризик $P_i = f(x, y)$) є функціями простору. У зв'язку з цим, обмежувачі прийняттого ризику можуть відноситися і до просторових показниками. Наприклад, зона територіального ризику (ймовірності смертельного ураження протягом року), що перевищує 10^{-6} не може поширюватися на тери-

торії за межами санітарної зони підприємства, а в деяких випадках і за межами території підприємства.

2. В межах локалізованої множини можливих рішень необхідно провести навігацію в просторі Парето, вибору з урахуванням критичної значущості показників ризику тих рішень, які є оптимальними в сенсі Парето. Вироблення різних рішень проводиться на підставі пошуку сценаріїв проходження по орієнтованому графу, складеним з орієнтованих гілок дерев відмови (FTA) і взаємно однозначно відповідним їм деревам подій (ETA) методами, що забезпечують швидкий спуск до фронту Парето. На рис. 2.9 представлена структура імітаційно-подієвої моделі виділення сценаріїв, для яких можливе вироблення Парето оптимальних рішень.

3. Так як повний сценарій досліджуваної події представлений повним проходженням від вхідної події в дереві відмов за відповідною гілкою дерева від «верхньої події».

4. Далі через «Зону ETA» по гілках відповідного впливу елементів захисту до відповідного фізичного процесу, що реалізується при аварії. В результаті математичного моделювання пов'язаних зі сценарієм фізичних процесів, визначається маточікування шкоди M_i .

5. Сортування маточікування шкоди спаданням дозволяє виділити верхній сектор, для якого ризик втрат неприйнятний [84]. Таким чином, отримуємо повні ланцюги неприйнятних сценаріїв аварій та їх негативних процесів.

6. При цьому в дереві відмов, завдяки використанню коефіцієнтів значущості (більш докладно описано далі), виділяються вихідні події і засоби попередження, ймовірність відмови яких найбільш впливає на показники ризику. Для всіх виділених в сценарії вхідних подій, впливів засобів захисту, масштабів негативних процесів, отриманого збитку можна виробляти набори рішень і визначити їх вартість. Якщо нормована до одного року вартість запропонованих заходів щодо зниження ризику перевищує очікуваний збиток, то такі пропозиції економічно неефективні.

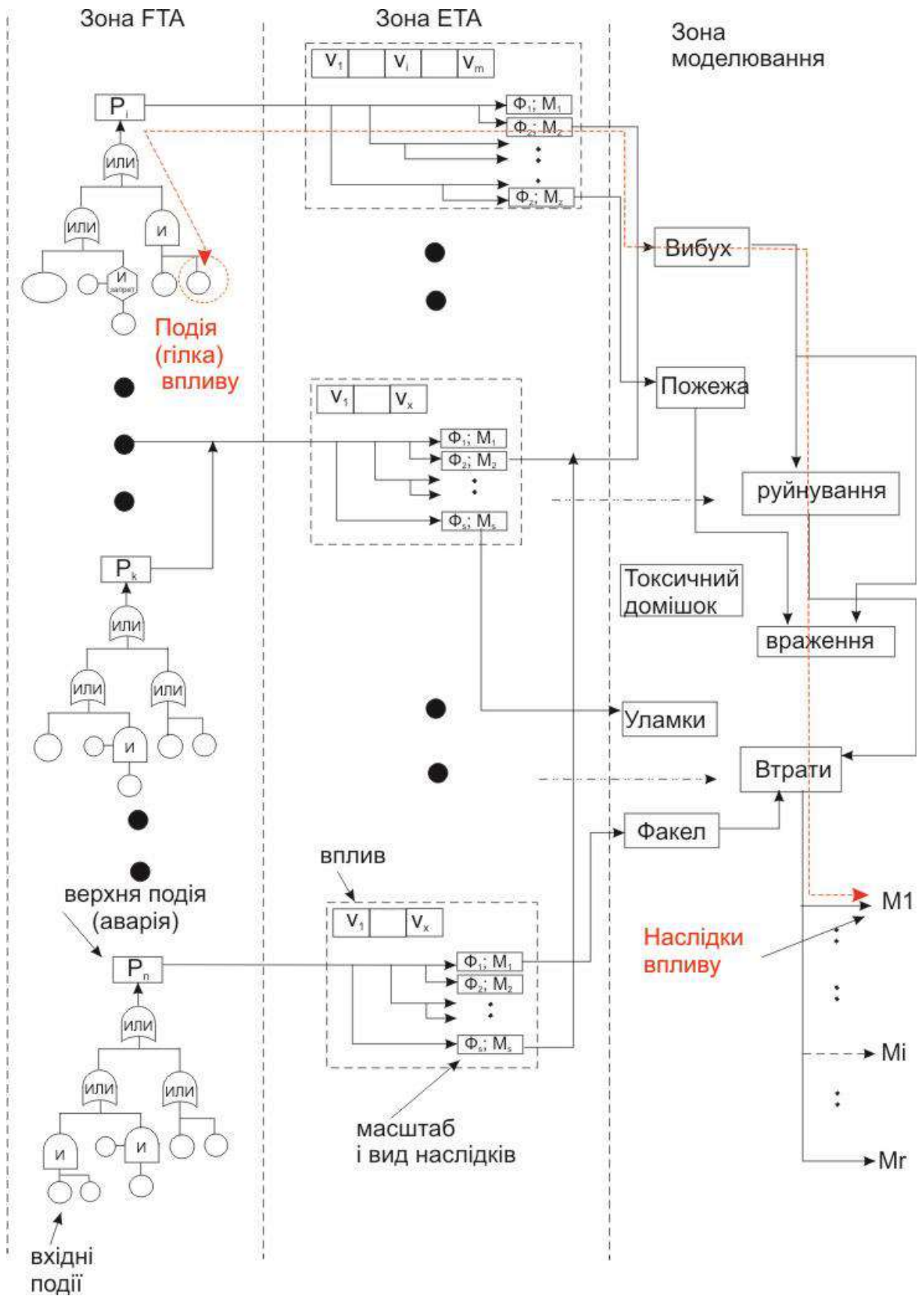


Рис. 2.9. Структура імітаційно-подієвої моделі підтримки прийняття рішень

Очевидно, що всі сценарії, дані ризику яких перевищують обмежуючі показники і не можуть бути знижені шляхом впровадження розроблених рішень, призводять до заборони на експлуатацію блоків СХТС, яким вони відповідають.

Висновки по розділу 2

1. Розглянуто загальні положення методів управління рівнем промислової безпеки. Запропоновано концептуальну постановку завдання оцінки поточного ризику ОПН, що досліджуються, вироблення рішень щодо зниження показників ризику блоків СХТС, для яких це можливо і необхідно з дотриманням принципу ALARP, моніторингу ризику та оперативних заходів при його зміні. Запропоновано структуру інформаційних потоків в інформаційній технології оцінки техногенного ризику.

2. Розроблено модель оцінки техногенного ризику. Представлена структурна модель інформаційного забезпечення процесу прийняття рішень, відповідно директиві Seveso III, а також схема інтерактивного процесу оцінки поточного ризику і приведення його до прийняттого.

3. Розроблено математичну модель процесу вироблення рішень на основі оцінки техногенного ризику. Запропоновано моделі та методи пошуку прийняттого рівня техногенного ризику на виробничому і державному рівнях. Ці моделі і методи, на відміну від існуючих, ґрунтуються на базі впровадження імітаційно-подієвого моделювання, методів багатопараметричної оптимізації, що дозволяє розробляти математичне і програмне забезпечення систем підтримки прийняття рішень, які забезпечують сталий розвиток підприємств і соціуму.

4. Представлена структурна інформаційна модель моніторингу ризику, яка дозволяє здійснити методи RBI аналізу і реалізувати ремонтно-відновлювальні роботи за принципом «ремонт за станом» з урахуванням поточних показників ризику досліджуваних ОПН. Представлені методи

ефективної оцінки залишкового ресурсу елементів СХТС і устаткування з урахуванням ймовірності відмови в процесі експлуатації.

5. Розглянуто формалізовану модель процесу прийняття рішень на підставі оцінки ризику і використання методів визначення критичної значущості відмов елементів СХТС.

Матеріали розділу опубліковані в роботах автора [75, 77, 84, 85, 90, 95, 104, 106, 107, 213]

РОЗДІЛ 3 МЕТОДИ І МОДЕЛІ ОЦІНКИ РІВНІВ БЕЗПЕКИ І НАДІЙНОСТІ ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТІВ

У розділі представлені основні положення 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 імітаційно-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). Описано методи та математичний апарат обробки гілок дерев і аналізу значущості їх структурних елементів, які дозволяють здійснити ітераційний пошук оптимальних засобів і методів підвищення експлуатаційної надійності технологій.

Представлені методи оцінки ефективності та надійності засобів захисту, локалізації і ліквідації аварій а також засобів подвійного призначення. Описано методи формалізації сценаріїв розвитку аварій з використанням механізму «дерев подій» (ETA) і отримання кількісних даних про ймовірності реалізації підсумкових негативних фізичних процесів, що виникають при аваріях. Описано методи аналізу гілок ETA, що дозволяють виділити множини сценаріїв розвитку, ймовірність яких перевищує прийнятний рівень. При цьому можливе прийняття принципових рішень щодо рівня надійності та ефективності протиаварійних заходів.

Матеріал даного розділу є підставою для подальшого отримання кількісних показників масштабів аварійних процесів і визначення рівня надійності техногенних об'єктів і їх компонент. Представлені в розділі методи лежать в основі оцінки рівня безпеки ОПН.

3.1 Основні положення і методи оцінки техногенного ризику

Автоматизація отримання інтегральних показників ризику від множинних джерел (див. Розділ 2.1) вимагає приведення всіх початкових і проміжних даних до деякого уніфікованого формату, який би дозволив побудувати сумісний протокол обміну даними при оцінці і аналізі ризику.

На етапі моделювання процесів виникнення і розвитку аварій, зокрема отримання кількісних показників надійності елементів СХТС і ймовірності подій графа станів, а також ймовірності верхніх подій FTA пропонується механізм зв'язку між виділеними процесами аналізу HAZOP і причинно-наслідковими зв'язками подій, використовуваними в імітаційно-подієвої моделі, яка є формалізованим математичним описом логіки аналізу небезпеки і працездатності СХТС.

Під ризиком в загальному сенсі цього слова, розуміється розрахована ймовірність того чи іншого неблагополучного результату тих чи інших дій окремої особистості, групи осіб, організації, держави і т. д. вираженого в кількісному значенні втрат. Визначення втрат (збитків) є найбільш складним завданням при автоматизації оцінок. Основна складність полягає в тому, що втрати можуть мати зв'язну структуру, в якій розрахунки відкладеної шкоди скрутні через складнощі логічної формалізації цих зв'язків. Приклад методичного забезпечення визначення збитку наводиться в додатку В. Це лише один з фрагментів формалізованого завдання отримання кількісних показників збитку. Незважаючи на істотну складність такої формалізації, вона можлива і цілком можливе моделювання окремих методів таких розрахунків.

Отримання інтегральних показників ризику та оцінки його окремих компонент вимагає алгоритмізації для створення програмних засобів забезпечення інформаційної технології підтримки прийняття рішень в області техногенного ризику.

У розділі 1 представлені основні терміни та визначники, що відносяться до питань техногенного ризику, а також деякі концептуальні положення оцінки ризику. Можна розглядати загальне поняття оцінки техногенного ризику як сукупність окремих процедур:

- аналіз безпеки і працездатності блоків СХТС, експлуатованої в ОПН;
- пошук ймовірності реалізації конкретного небезпечного процесу або події, нормованої до одного року;
- визначення ймовірності того, що аварія, яка виникає, буде розвиватися по конкретному сценарієм з урахуванням відмови або спрацьовування засобів захисту і локалізації аварійних ситуацій;
- моделювання негативних фізичних явищ, що виникають при реалізації цього процесу або події;
- моделювання процесів руйнувань і поразок;
- оцінка можливого і очікуваного частинного і сукупного збитків;
- отримання інтегральних показників ризику.

Якщо рішення про проведення аналізу ризику прийнято і при цьому визначені цілі і область застосування такого аналізу, то необхідно вибрати методи аналізу, виходячи з уявлень про прийнятність даних, таких, як:

1) поточна стадія розробки складної системи. На ранній стадії створення і впровадження системи зазвичай застосовуються не дуже деталізовані методи. Ці методи вдосконалюються зі збільшенням складності та обсягу інформації;

2) завдання дослідження ризику. Цілі і завдання досліджень необхідно погоджувати з використовуваними методами. Наприклад, якщо робиться зіставлення досліджень різних варіантів, то прийнятним може бути використання досить неточних моделей (оціночних) наслідків для частин системи, які не змінюються;

3) типи системи, яка аналізується і безпеки, які оцінюються;

4) рівень глибини деталізації можливих наслідків. Рішення щодо глибини і якості аналізу має відповідати початковому сприйняттю наслідків;

5) вимоги до людських ресурсів, рівню компетенції технічного персоналу та іншим необхідним ресурсам. Досить простий і ретельно розроблений метод дозволяє забезпечити кращі результати в порівнянні зі значно ускладненою процедурою, яка розроблена недостатньо глибоко, оскільки цей метод відповідає поточним завданням і області визначення проведених досліджень;

6) повнота і достовірність інформації і даних про досліджуваний об'єкт;

7) необхідність модифікації результатів аналізу. Стосовно аналізу, можливо, буде потрібно його актуалізація. При цьому деякі методи більш придатні для поліпшення, і їх вибір необхідно обґрунтувати;

8) різні вимоги, пов'язані з нормативною і правовою базою і вимоги договору експлуатації.

На підставі вищевикладеного проводиться основна операція для оцінки ризику - аналіз безпеки і працездатності. Для цього приймаються методи типу HAZOP, або більш дешевий HAZID.

Результат проведеного аналізу представляється даними формалізованої структури, які дозволяють побудувати формальні ланцюга причинно-наслідкових зв'язків, що відображають послідовні відмови елементів СХТС, відмови систем захисту, що призводять до певних сценаріїв розвитку аварії. На рис. 3.1. приведена структура методів оцінки ризику.

Методи побудови «дерев відмов» і їх аналізу описані в розділі 3.2, а «дерев подій» в розділі 3.3. Деякі методи математичного моделювання аварійних процесів, визначення збитку описані в розділі 4.3.

Отримання інтегральних показників ризику (див. формули 2.1-2.4) здійснюється наступним чином.

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

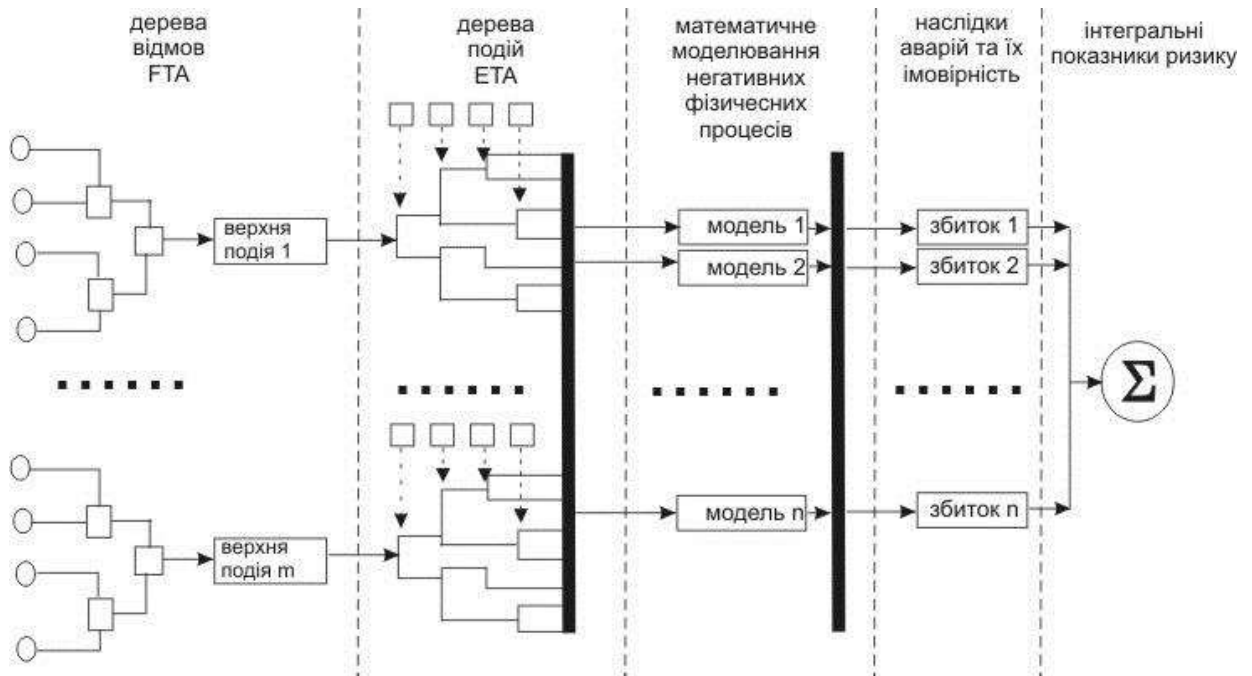


Рис. 3.1. Структура процесу оцінки ризику

Кожен ефект ураження настає в результаті прямого впливу: ударної хвилі, теплового випромінювання, інгаляційного впливу токсичної речовини. Під «полем» (перетином) мається на увазі масив даних ймовірності поразки, розподілене по двовимірному простору (x, y) території ризику. Значення масиву даних представлено для прямокутних осередків з індексами (i, j) , які покривають простір ризику із заданим кроком.

1.1 Можливість поразки в результаті впливу ударної хвилі в відкритому просторі обчислюється на підставі моделювання параметрів ударної хвилі по «лінійці» - розподіл вірогідності поразки в просторі від епіцентру вибуху до відстані мінімальної поразки (травмування). «Лінійка» являє собою двовимірний масив «відстань від епіцентру вибуху» - «ймовірність ураження». Виділяється простір для створення поля. В даному випадку - це квадрат зі стороною, що дорівнює двом максимальним відстаням до кордону зони

уражень. Абсолютно аналогічно робиться поле для важких і легких поразок. Тільки при цьому використовується своя функція ймовірності.

1.2 Отриманий перетин є «полем» умовного територіального ризику (за умови, що саме такий вибух стався, з такими вхідними даними). Добуток всіх значень поля на ймовірність того, що такий вибух станеться, буде полем безумовного територіального від даного джерела небезпеки за даним видом загрози.

2. Для одного «дерева подій», всі загрози, представлені в кінцевих подіях є «несумісними» (або взаємовиключними, так як розвиваються тільки по одному можливому сценарію). Це означає, що підсумкове поле ризику для всіх загроз, представлених в кінцевих події ОДНОГО дерева відмов, є сумою ймовірностей всіх полів умовного територіального ризику $P_{i,j}$, отриманих в кожній кінцевій події, помножених на ймовірність цієї кінцевої події P_{k_s} (всього n кінцевих подій):

$$P_{sum_{i,j}} = \sum_{s=1}^n (P_{i,j} \cdot P_{k_s}), \quad 3.1$$

за умови, що P_{k_s} не містить вже всередині себе ймовірності P_{FTA_e} , (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 проекті джерел небезпеки і дерев відмов підсумкове поле ризику визначається шляхом добутка ймовірності верхньої події відповідного дерева відмов P_{FTA_s} на поле територіального ризику, отримане для відповідного дерева подій і далі розрахунок підсумкового поля за формулою:

$$P_{u_{i,j}} = 1 - \prod_1^e \left(1 - \left(P_{FTA_e} \cdot P_{sum_{i,j_e}} \right) \right) \quad (3.2)$$

Послідовність дій в проекті така:

- створюється проект;

- кожному джерелу небезпеки задаються координати його розташування і інші необхідні дані;
- кожному заданому джерелу небезпеки даного проекту присвоюється кілька (Є) «дерев відмов». Кожне дерево відмов закінчується верхнім подією з обчисленої ймовірністю P_{FTA_e} ;
- кожному «дереву відмов» ставиться у відповідність («прив'язується») «дерево подій» (см. рис. 2.5);
- для кожного «дерева подій» визначаються сценарії, що закінчуються «кінцевими подіями» з ймовірністю Pk_s ;
- для кінцевих подій задаються («прив'язуються») види фізичних загроз (вибухи, пожежі, отруйна хмара) і вводяться вхідні дані для розрахунків моделей. Кожна модель розраховує «лінійки» і «розгортає поля» (див. рис. 3.2) для всіх заданих загроз, а також в результаті отримує сумарне поле $Psum_{i,j_e}$. Обчислення поля токсичного впливу включатиме в себе «розу вітрів». Більш докладний опис поля з урахуванням «рози вітрів» буде описано додатково;
- для кожного дерева відмов створюються такі поля з добутком $P_{FTA_e} \cdot Psum_{i,j_e}$;
- за підсумками обчислень знаходяться координати максимально віддалених від центру кордонів поразок (вліво, вправо, вниз та вгору) для всіх джерел небезпеки. Створюється простір з описаним прямокутником, всередині якого метрично точно розташовані поля територіального ризику відповідних джерел небезпеки. Цьому полю задається крок обчислень і для кожної центральної точки i, j такого простору створюється поле, отримане за формулою (3.2), шляхом «прошивки» простору шарів полів ризику рівнів $P_{FTA_e} \cdot Psum_{i,j_e}$.

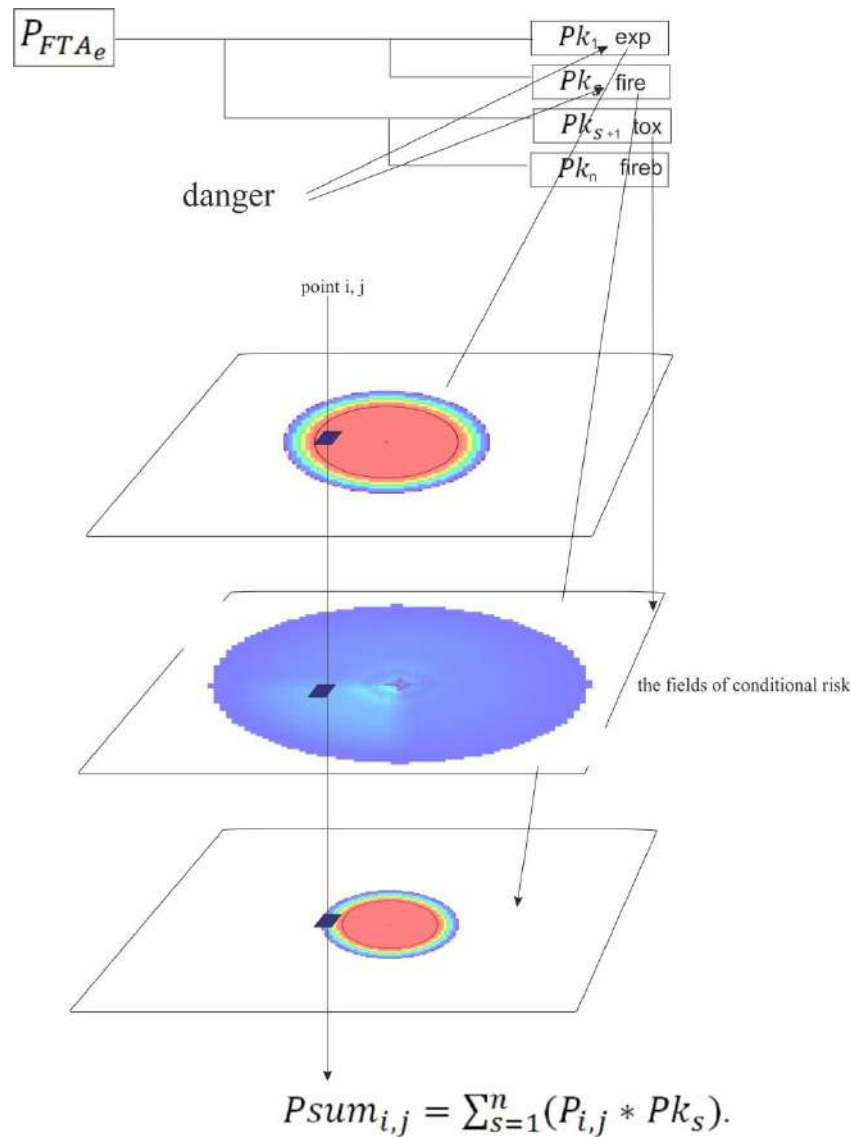


Рис. 3.2. Структура процесу отримання показників полів ризику

Під «прошивкою» мається на увазі обчислення $Pu_{i,j}$ для кожної точки простору і інтегрування отриманих результатів по шарам. Підсумком таких обчислень є поле безумовного територіального ризику.

Аналогічно полю ризику смерті визначаються поля важких і легких поразок. Кожне окремо.

Для визначення соціального ризику потрібні графіки P-N (ймовірність - число уражених) для відповідних видів поразок. При цьому використовуються такі об'єкти як «регіон», що представляють собою полігональний об'єкт (замкнута ламана) з відомою площею і заданими вхідними даними,

одне з яких - «кількість людей в регіоні». Відносини числа людей до площі регіону - це щільність людей в регіоні. Для побудови графіка P-N необхідно здійснити «прошивку» по всім осередкам простору підсумкового територіального ризику. Для кожного осередку необхідно виявити під її координатою регіони, вибрати максимальну з виявлених щільності людей, помножити отриману величину на площу елементарної комірки проходу по полю. Вийде масив значень $P_i \rightarrow N_i$. Даний масив необхідно сортувати по порядку зменшення. Після цього для всіх значень P_i , підсумувати значення N_i , які потрапляють в множина даного і більшого значення ймовірності, перетворивши попередній масив таким чином, щоб отримати новий масив, що відображає кількість людей, що потрапляють під «рівень ймовірності $\geq P_i$ ». За отриманими значеннями побудувати графік, в якому по осі абсцис відобразити число людей (цілими значеннями), а по осі ординат (в логарифмічній шкалою) відобразити ймовірність ураження N і менш числа людей (не більше N людей).

На рис. 3.3 наведено приклад графіка, за допомогою якого можна отримати значення соціального ризику. З прикладу видно, що ймовірність ураження не більше 10 людей протягом одного року знаходиться на рівні $1E-8$.

Розрахунок збитків по кожному із сценаріїв розвитку аварії оцінюється за різними методиками [186]. Але в будь-якому випадку потрібно врахувати наступне:

Концепція «прийнятного ризику» заснована на наступних базових принципах:

1. Основні ствердження:

– експлуатація небезпечного об'єкта не може бути виправдана, якщо прибуток (дохід) від цієї діяльності не перевищує збитку, можливого при катастрофічних аваріях;

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

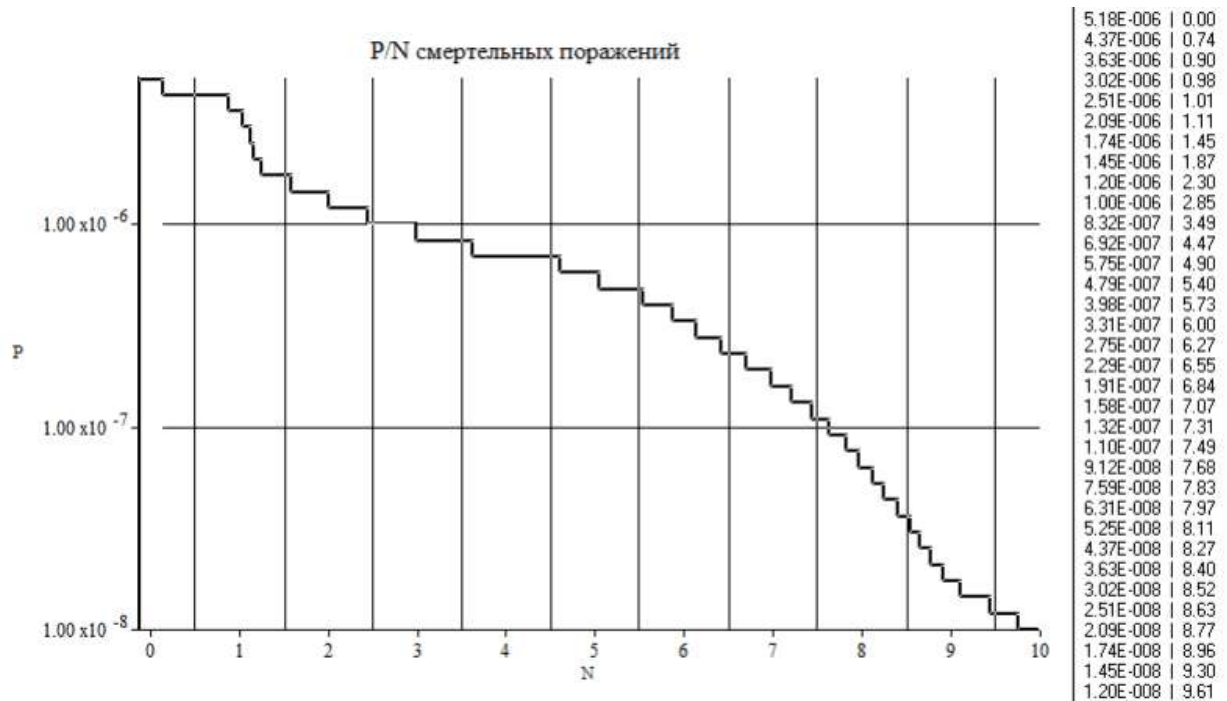


Рис. 3.3. Приклад F-N залежності

– необхідно врахувати всі можливі існуючі небезпеки;
 – реалізація припустимих екологічних показників (забезпечення точної безпеки людей і природи) досягається на підставі принципу, який би не призводив до ризику невідновлюваності природних балансів і небезпеки для майбутніх поколінь.

Збиток може бути зведений до єдиного показника в фінансовому вираженні, шляхом нормування всіх негативних наслідків до їх умовної вартості. Це означає, що загибель людей, їх травмування, екологічні втрати і пошкодження можливо уявити в грошовому вираженні. При цьому для кожного з розглянутих сценаріїв аварії визначається можливий збиток - сукупний прямий, відкладений, непрямий і т. д. Збиток в грошових одиницях за поточним курсом країни, в якій знаходиться ОПН. Приклад методичного забезпечення розрахунку збитку наведено в додатку В.

При моделюванні фізичних процесів, що відбуваються під час аварій, необхідно враховувати спрямованість їх розвитку. Приклад схеми найбільш типових зв'язків при моделюванні негативних процесів для хімічних і нафтохімічних виробництв наведено на рис. 3.4. Дана схема може трансформуватися в залежності від процесів, характерних для поточного виробництва, але принцип структурної послідовності подій і процесів зберігається і визначає набір наслідків, наступаючий при аварії.

Множина методів оцінки техногенного ризику дозволяють комбінувати різні підходи до вирішення цього завдання на підставі подання процесів СХТС і їх причинно-наслідкових зв'язків. [60-64]. Застосовувані в світовій практиці методи FTA і ETA зазвичай використовуються як окремі методи досліджень ймовірності виникнення певних ситуацій (для FTA) і надійності і ефективності засобів захисту (для ETA).

Комбінація цих методів в поєднанні з методами аналізу подієвих поєднань (гілок графа станів) дозволяє синтезувати методи досліджень імітаційної моделі СХТС, які виявляють зв'язок між окремими відмовами системи, їх сукупностями і небезпечними наслідками таких підмножин відмов, які можуть бути класифіковані і впорядковані в будь-якому напрямку досліджень і брати участь в порівняльному аналізі в просторі обмежень (див. розділ 2.2)

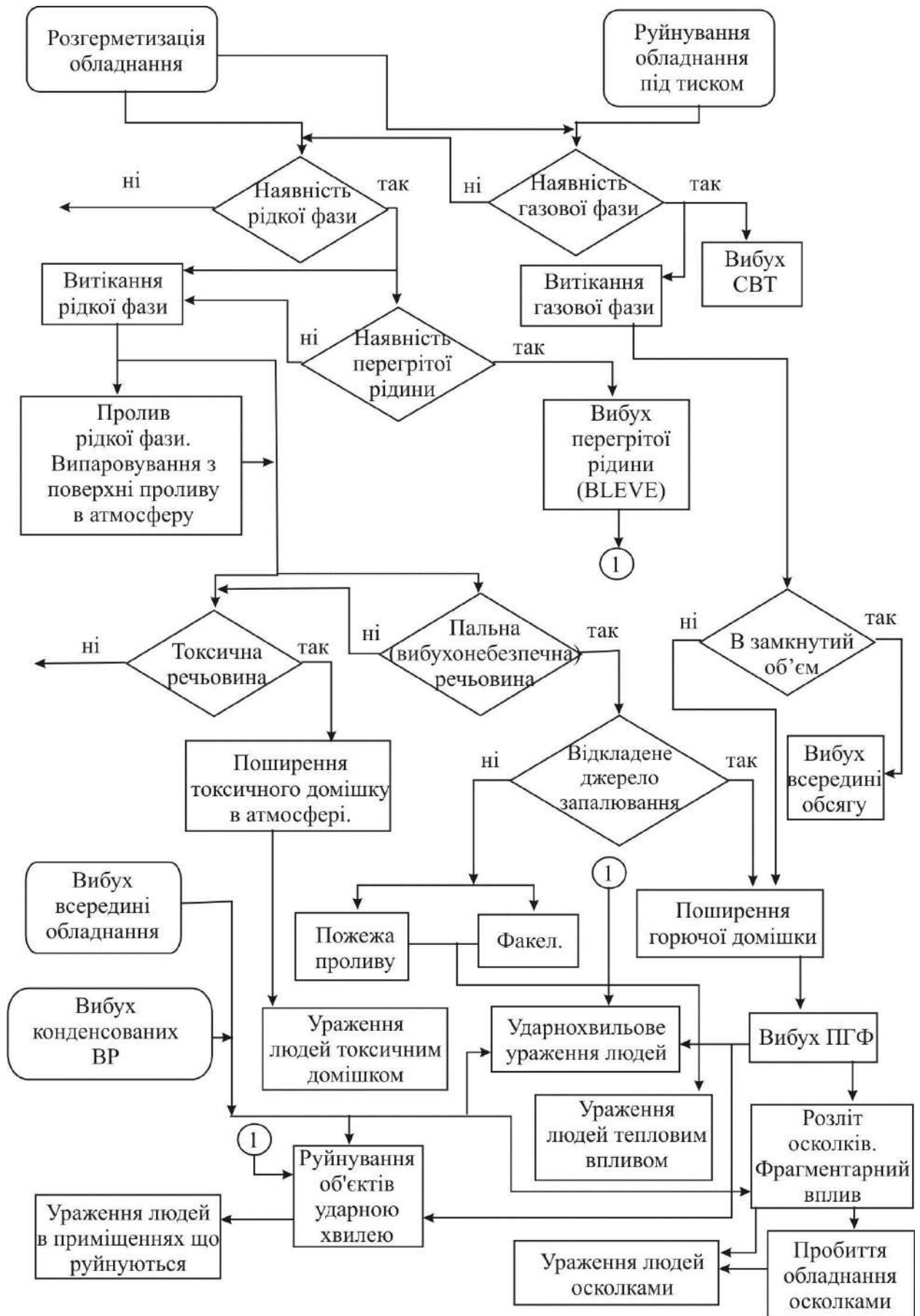


Рис. 3.4. Схема розвитку фізичних негативних явищ при аварії

3.2 Імітаційно-подієве моделювання небезпечних техногенних процесів на базі аналізу відмов

Для забезпечення роботи моделі оцінки ймовірності несприятливих станів (див. формулу 2.10) пропонується використовувати методи, описані нижче.

У документі «Менеджмент ризику. Аналіз дерева несправностей» (ІЕС 61025: 1990) [149, 184] описуються типові підходи до аналізу дерев відмов.

У зв'язку з тим, що аварії відносяться до рідкісних (пуасоновських) подій, прямі методи статобробки не можуть застосовуватися для оцінки ризику з достатнім ступенем довіри. Більш того, відмінності, що існують в реальних СХТС, вносять істотний вклад в відхилення експлуатаційної надійності. Так два підприємства, розроблені по одному і тому ж проекту можуть мати різні технічні, організаційні та інші рішення, які суттєво впливають на ймовірність виникнення і розвитку аварій.

Аналіз дерева відмов відноситься до методів ідентифікацій небезпек і оцінки ризику. Він дозволяє визначити шляхи реалізації небезпечних явищ і їх наслідків. Однак в першу чергу аналіз дерев відмов використовується для оцінки значень ризику і для визначення ймовірностей (частот) відмов і викликаних ними аварій. Побудова дерева відмов заснована на виявленні логіки причинно-наслідкових зв'язків процесів і подій, які притаманні небезпечному об'єкту при його експлуатації. Тому при правильній побудові дерево несправностей відображає експлуатаційний ризик «верхньої події» цього дерева - підсумкової події, яке реалізується при поєднанні мінімальних наборів подій дерева.

Як було відмічене в першому розділі, «аварія» (верхня подія) - завершення процесу накопичення помилок.

Формалізація побудови причинно-наслідкових зв'язків заснована на структурному описі на основі природної мови (ПМ) процесів, розглянутих в НАЗОР.

Процес побудови дерева відмов заснований на сукупності прийомів, які дають можливість створювати форму упорядкованого графічного представлення логіко-ймовірнісної зв'язку деяких стохастичних подій (відхилень, несправностей, помилок і ін.), які призводять до виникнення небажаних подій ("верхня подія").

Дерево відмов створюється методом «зверху - вниз» (від верхівки до коріння – метод послідовного спуску), шляхом виявлення причинно-наслідкових зв'язків, що відображаються логічним знаком, між причинними відмовами і виникаючими при цьому наслідками.

Логіка виявлених зв'язків за принципом «причина-наслідок» оформляється шляхом використання символів логічних операцій і «подій», які об'єднуються такими символами [67].

Події містять інформацію про ймовірності (частоті) подій, їх короткий опис, стан.

Логічні зв'язки об'єднують в «події» відповідно до їх причинними відображеннями. Логічний зв'язок формалізується за допомогою наступних знаків:

- логічний символ «I» (“AND”). Цей символ застосовується, коли підсумкова подія відбувається, за умови, що всі вихідні події відбуваються одночасно. Ці події називаються «залежними» (спільними). Логічний знак OR має математичний запис «^», «&» і виконує алгебраїчне дію «добуток». Підсумкова ймовірність дорівнює добутку ймовірностей вихідних подій: якщо події e_1, \dots, e_n об'єднуються по логічному AND, то ймовірність реалізації підсумкової події «e» обчислюється за формулою:

$$P_e = \prod_{i=1}^n P_i \quad (3.3.)$$

- логічний символ «OR» (“ИЛИ”). Результируюча подія відбувається в тому випадку, якщо реалізується будь-яка з вхідних подій. Події при цьому також вважаються незалежними «спільними» (відбуваються незалежно один від одного). Логічний знак OR має математичний запис « \vee ». Знак «INHIBIT» відповідає логічному AND і призначений для підкреслення події стримування або засоби захисту (попередження, сигналізації, блокування і т. п.).

Якщо події e_1, \dots, e_n об'єднуються по логічному знаку OR, то ймовірність реалізації події «e» обчислюється за формулою:

$$P_e = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i) \quad (3.4)$$

- логічний символ «XOR» (“ВИКЛ. АБО”). Результируюча подія реалізується, якщо відбувається хоча б одна з вихідних подій за умови, що інші не можуть відбутися. Наведені при цьому події вважаються «несумісними» (залежні - відбуваються взаємозалежно одне від одного). Логічний знак OR має математичний запис « \oplus ». Якщо події e_1, \dots, e_n об'єднуються по логічному знаку XOR, то ймовірність реалізації події «e» обчислюється за формулою:

$$P_e = \sum_{i=1}^n P_i \quad (3.5)$$

. Вхідні події представлені такими видами:

- початкова подія (basic) - вхідне, описане семантично і визначено кількісно по частоті або ймовірності реалізації;

- зовнішня подія (external) - розроблена в іншому дереві відмов. Призначено для можливого використання зовнішніми засобами, шляхом раніше створеного файлу (дерева);

- неопрацьовані (undeveloped) - не має повної розробки, але вважається вхідним. Призначено для завдання можливості зовнішнього створення або отримання значення ймовірності реалізації іншим способом.

Всі перераховані події реалізовані в структурі таких даних:

Title	Description	Memo	Element Type	Probability Low	Probability	Probability High	Probability Arg
Разрушение емкости	Выброс сжиженного углеводорода	СГТ до ионизации	Or Gate	2.2507E-7	1.8006E-7	6.194E-7	Independent
Разрушение емкости	Выброс сжиженного углеводорода	СГТ до ионизации	Or Gate	2.2507E-7	1.8006E-7	6.194E-7	Independent
Разрушение емкости	Выброс сжиженного углеводорода	СГТ до ионизации	Or Gate	2.2507E-7	1.8006E-7	6.194E-7	Independent
Разрушение емкости	Выброс сжиженного углеводорода	СГТ до ионизации	Or Gate	2.2507E-7	1.8006E-7	6.194E-7	Independent
Разрушение емкости	Выброс сжиженного углеводорода	СГТ до ионизации	Or Gate	2.2507E-7	1.8006E-7	6.194E-7	Independent
Разрушение емкости	Выброс сжиженного углеводорода	СГТ до ионизации	Or Gate	2.2507E-7	1.8006E-7	6.194E-7	Independent
Разрушение емкости	Выброс сжиженного углеводорода	СГТ до ионизации	Or Gate	2.2507E-7	1.8006E-7	6.194E-7	Independent
Разрушение емкости	Выброс сжиженного углеводорода	СГТ до ионизации	Or Gate	2.2507E-7	1.8006E-7	6.194E-7	Independent
Разрушение емкости	Выброс сжиженного углеводорода	СГТ до ионизации	Or Gate	2.2507E-7	1.8006E-7	6.194E-7	Independent
Разрушение емкости	Выброс сжиженного углеводорода	СГТ до ионизации	Or Gate	2.2507E-7	1.8006E-7	6.194E-7	Independent
Разрушение емкости	Выброс сжиженного углеводорода	СГТ до ионизации	Or Gate	2.2507E-7	1.8006E-7	6.194E-7	Independent

1. Id – ідентифікаційне число аналізованого об'єкта.
2. Title – заголовок вузла. Рекомендується заносити в заголовок код верхнього події, який повністю відповідає кодуванню проведеного аналізу небезпеки (наприклад, кодується в таблицях HAZOP).
3. Description – опис об'єкта. Короткий опис події, що представляє несправність або небезпеку.
4. Memo – пам'ятка для уточнень подій і особливостей для даного об'єкта.
5. Element Type – тип елемента або логічного зв'язку об'єкта.
- 6-8. Probability – ймовірності події (розрахункові або вхідні: нижня, середня, верхня ймовірність).

9. Probability Arg – властивість стану об'єкта. Якщо подія складається з декількох однакових подій (наприклад, відмова сукупності N об'єктів одного типу з ймовірністю відмови одного об'єкта $= P$), то можливі такі реалізації видів подій:

- Independent - незалежне (спільні - події, які не залежать одне від одного) - ймовірність відмови будь-якого з N обчислюється по логічного зв'язку «OR»:

$$P = 1 - (1 - p)^N \quad (3.6)$$

- L з K (при яких можлива відмова не менше, ніж L з K однотипних елементів) – ймовірність відмови не менше ніж L з K обчислюється з використанням формули Бернуллі:

$$P = \sum_{i=L}^K \frac{K!}{i!(K-i)!} \cdot p^i \cdot (1-p)^{K-i} \quad (3.7)$$

Повністю побудоване дерево відмов є функціонально повноцінним і може як розраховуватися, так і бути схильним до аналізу. Розрахунок дерева дає кількісні значення ймовірності всіх його вузлів. Аналіз дерев відмови може бути проведено шляхом виділення аварійних поєднань і гілок на підставі «коефіцієнтів значущості».

Кожна завершена гілка дерева відмов вносить свій вклад в значення ймовірності «верхньої події». Внески всіх гілок різні, можуть бути визначені і сортовані за знижкою. Таким чином можна виділити групу гілок, що визначають надлишкову ймовірність «верхнього події» над якимось регламентованим значенням. Всі вихідні події цих гілок і події по заборонах (відмова засобів захисту) можуть бути переглянуті в бік збільшення їх надійності в першу чергу.

У додатку Д наводиться приклад аналізу дерева відмов.

Аналіз з використанням коефіцієнтів значущості заснований на наступному: обчислюється три значення ймовірності верхньої події $F(X)$ - ймовірність реалізації верхньої події при встановлених значеннях подій в дереві (гілки), $F(1)$ - ймовірність реалізації верхньої події при встановлених значеннях подій в дереві (гілки) і ймовірності реалізації досліджуваної події = 1, $F(0)$ - ймовірність реалізації верхньої події при встановлених значеннях подій в дереві (гілки) і ймовірності реалізації досліджуваної події = 0.

Запропоновано до використання наступні коефіцієнти:

1. по Бірнбауму (Birnbbaum): Обчислюється: $B(x) = F(1) - F(0)$.
2. коефіцієнт зменшення ризику КУМР (RRR – Risk Reduction Ratio): $RRR = F(X)/F(0)$, $F(0) \neq 0$.

3. інтервал зменшення ризику ИУМР (RRI – Risk Reduction Interval):
 $RRI = F(X) - F(0)$

4. коефіцієнт збільшення ризику КУВР (RIR – Risk Increase Ratio):
 $RIR = F(1) / F(X)$

5. інтервал збільшення ризику ИУВР (RII – Risk Increase Interval):
 $RII = F(1) - F(X)$

6. значимість по Фусселу-Веселі (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 (Criticality Importance Measure), де $F(A)$ - ймовірність вихідної події, $F(X) \neq 0$.

Всі обчислювані величини можуть бути сортовані і показувати гілки дерева відповідно до сортування.

Завдяки коефіцієнтами значущості і методам послідовних угруповань і порівнянь, можна реалізувати умовну оптимізацію і якнайшвидший спуск до фронту Парето при розробці рішень щодо приведення експлуатаційного ризику до прийняттого.

3.3 Оцінка ефективності та надійності засобів протиаварійного захисту і засобів подвійного призначення на базі аналізу подій

Для оцінки ефективності та надійності засобів захисту (локалізації та ліквідації наслідків аварій) пропонується користуватися дискретно-подієвою моделі (див. формулу 2.11) і реалізувати її методами, описаними нижче.

Відповідно до IEC 62502 1.0 edition - "Analysis techniques for dependability - Event tree analysis (ETA)" (аналог: ГОСТ Р 51901.13-2005) виконується аналіз надійності і ефективності засобів зниження наслідків аварій. До таких засобів можуть належати: запірна арматура подвійного і протиаварійного призначення, дренажні системи і аварійні або резервні ємності, системи пригнічення вибухів, системи протиаварійної вентиляції, парові

завіси, локалізації проливів і інші засоби, що дозволяють в значній мірі знижувати небезпечні наслідки розвитку аварійних ситуацій.

Дерево подій (ETA) - логічна структура, яка відображає процес розвитку ситуації, що виникає в результаті ініціюючої (вхідної) подій з урахуванням впливу можливих проміжних подій. Дерево подій розвивається за бінарним принципом аж до «сценаріїв» («результуючих подій»).

Дерево подій побудувати складніше, ніж дерево несправностей, незважаючи на те, що кількісно число проміжних подій зазвичай невелике. Складність полягає в тому, що з моменту виникнення ініціюючої події (зазвичай аварійної), процеси розвиваються в часі і взаємозв'язку, який складно формалізувати на рівні дискретних і однозначних наслідків. Крім того, в якості дискретних подій іноді помилково приймають фізичні процеси, які становлять небезпеку. Таким чином, в кінцевих гілках ETA моделюються такі явища як вогняні кулі, пожежі, вибухи та інші події, які можуть бути тільки підсумковими подіями при правильній побудові ETA.

Метод «дерева подій» дозволяє:

- відпрацювати кроки, спрямовані на зниження наслідків аварійних подій, надійність засобів протидії аварії, надійність і ефективність дій персоналу;
- аналізувати і складати групи сценаріїв наслідків аварій для подальшого моделювання негативних впливів аварійних процесів.

Надається можливість побудувати логічну схему розвитку подій за принципом «успіх-відмова» з урахуванням послідовності вжитих заходів, ефективності їх впливів, ймовірностей як виникнення самої події, так і ймовірностей успіхів і відмов кроків. Кожен кінцевий сценарій (Result) може бути представлений декількома моделями негативних процесів, що призводять до поразок і руйнувань. На рис. 3.5 показаний приклад бінарного розгалуження дерева подій.

При проведенні аналізу дерева подій (ДП) і його логічних зв'язків в якості початкової події приймають фактичну небезпеку (наприклад, реалі-

зация верхнього події дерева відмов, наявність розгерметизації, виникнення пожежі і т. д.). Така подія відображають у вигляді вхідного об'єкта на верхньому ДП (див. Рис. 3.6). Однією небезпеки відповідає один елемент на верхньому рівні. Загальна кількість ідентифікованих небезпек дорівнює k .

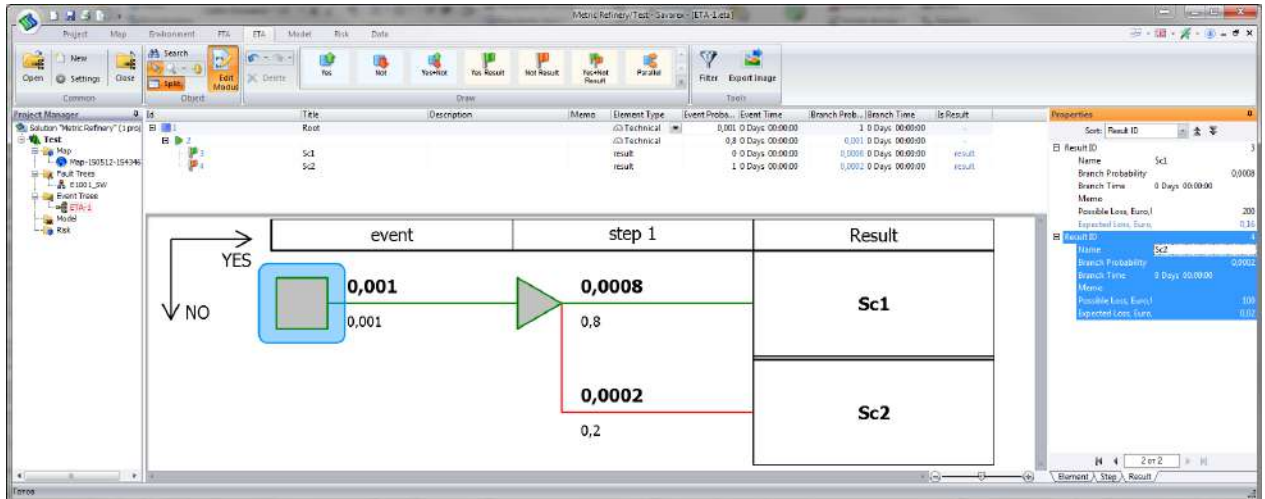


Рис. 3.5. Приклад бінарного представлення подій в ЕТА

Усі наступні події (можливі розвитку небезпечних подій) можуть бути розміщені на наступному рівні дерева подій. Наприклад, небезпека – "полу-м'я" (1 вузол) може реалізуватися у вигляді пожежі (1.1), задимленість (1.2), підвищений випромінювання (1.3) і т. д.

Кожна i -а гілка ДС із загального числа N представляє собою деякий сценарій, що визначається i -й реалізації наслідків, що представлені явищами небезпеки. Імовірність прояву i -го сценарію P_i – умовна ймовірність кінцевої події у відповідній гілці дерева. Реалізація явищ по i -му сценарієм призводить до прояву деякого збитку U_i .

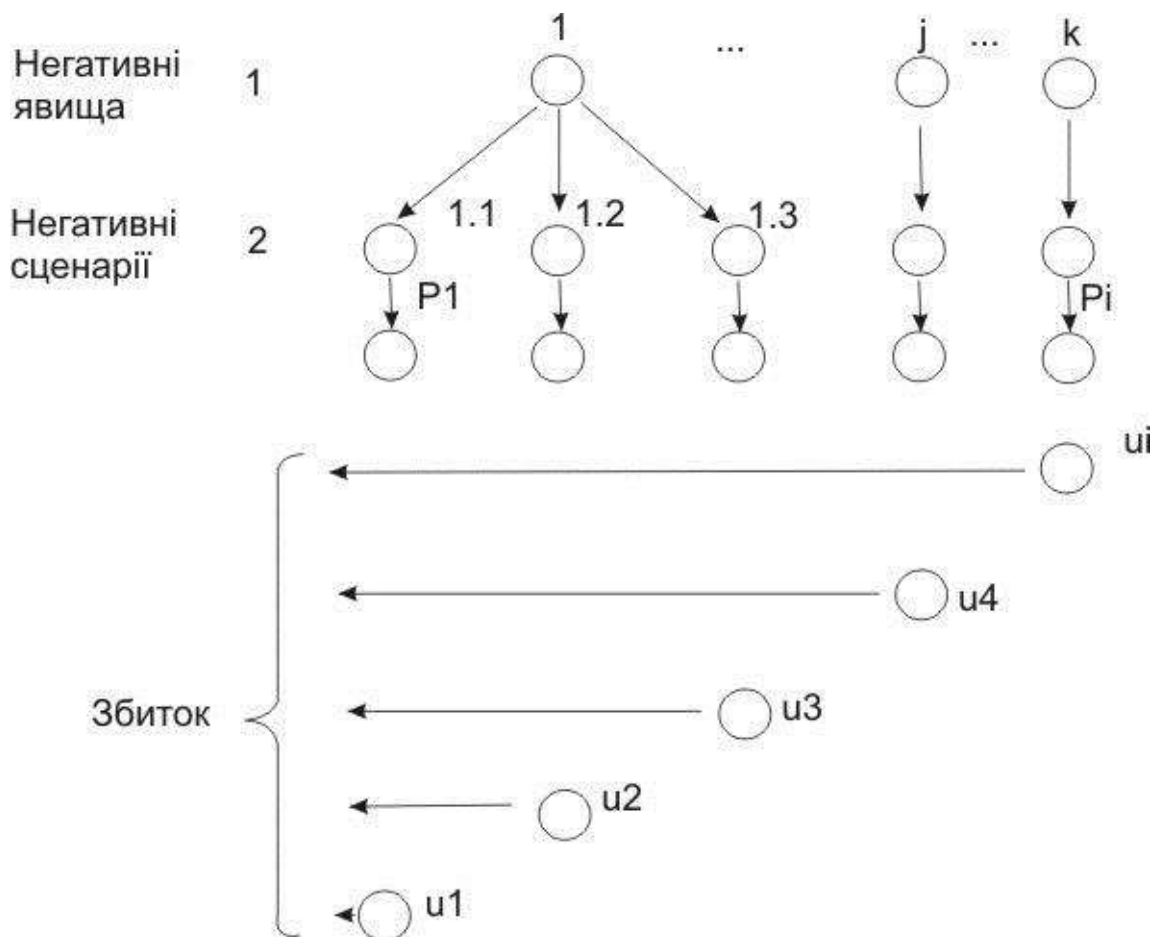


Рис. 3.6. Дерево подій. Схема розрахунку ймовірності настання збитку

Для будь-якого рівня ДП обчислюються ймовірності (частота – нормована вірогідність) настання можливих збитків, які відповідають ідентифікованим небезпекам, і можливого результату, який не пов'язаний з проявом шкоди. При цьому всі зазначені події на будь-якому рівні повинні об'єднувати повну групу станів (повна сума ймовірностей їх реалізації повинна бути рівною одиниці). ймовірності P_1, P_2, \dots, P_i визначають в результаті перемноження ймовірностей по гілках дерева подій до настання збитків U_1, U_2, \dots, U_i ймовірність подій, не пов'язаних з настанням шкоди.

Метод аналізу ДП і його логічних зв'язків може застосовуватися в поєднанні з вербальним представленням ймовірностей реалізації можливих збитків. При цьому можливим якісним значенням ймовірностей реалізації збитків і втрат P_1, P_2, \dots, P_L привласнюють деякі вагові відповідні коефіціє-

нти A_1, A_2, \dots, A_L , де L – кількість нормованих ймовірностей. Кожній з до виявлених небезпек і наслідків, не пов'язаних з настанням шкоди, ставлять у відповідність одне з L якісних значень ймовірностей реалізації шкоди і відповідним їм кількісний показником вагового коефіцієнта.

Ймовірність реалізації підсумкового збитку, який визначається проявом j -ї небезпеки, визначають в результаті поділу i -го коефіцієнта (вагового) на суму коефіцієнтів, відповідних k ідентифікованим небезпекам і наслідків, не пов'язаним з реалізацією шкоди:

$$P_j = \frac{A_j}{\sum_{j=1}^{k+1} A_j} \quad (3.8)$$

Аналогічними методами визначають вірогідність результатів, які не пов'язані з реалізацією підсумкового збитку.

Приклад типового дерева подій для нафтохімічного виробництва наводиться на рис. 3.7.

Для інших виробництв і «верхніх подій» необхідно відповідних блоків необхідно розробляти свої ЕТА.

Крім представлених в деревах подій впливів і сценаріїв розвитку аварій необхідно оцінити ефективність засобів захисту, які застосовуються на досліджуваному виробництві. Найчастіше можна виявити неефективність цих засобів.

Наприклад, застосування засобів швидкозапірної автоматичної арматури (середній час спрацьовування близько 12 секунд) в апаратурі високого тиску може бути неефективним, так як загальний час закінчення небезпечної речовини при гільйотини відсікання може відбуватися за порівнянні часи (близько 20 - 30 секунд). Таким чином, спроба зменшити кількість речовини, що викидається практично ні до чого не призводить.

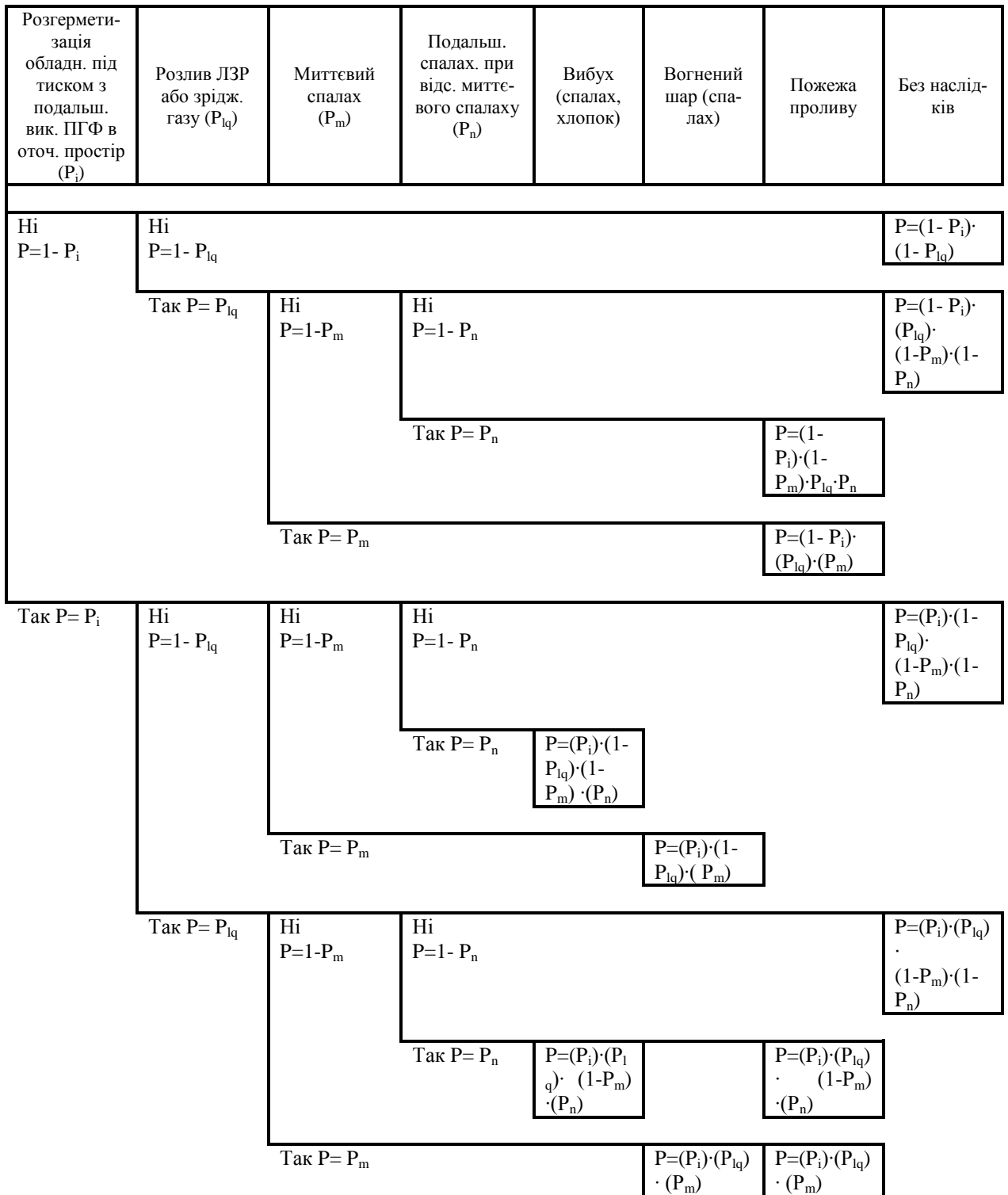


Рис. 3.7. Орієнтований граф дерева подій для типового блоку НПЗ

Для дослідження ефективності засобів захисту необхідний аналіз і математичне моделювання фізичних процесів. Деякі з важливих моделей будуть описані далі. Інші методи допустимі при інженерних оцінках процесів

розвитку аварій в просторі і часі і в межах точності моделювання при постановці питань дослідження.

Висновки по розділу 3

1. Представлені моделі і методи оцінки ризику аварій в СХТС, розроблені з метою оцінки ризику, призначені для обґрунтування вибору процесів і пропозицій щодо підвищення рівня надійності та ефективності технологічних систем з дотриманням принципу ALARP.

2. Запропоновані в розділі моделі і методи засновані на дотриманні основних принципів:

– практична діяльність не може бути виправдана, якщо вигода від цієї діяльності в цілому не перевищує викликається нею шкоди;

– оптимальним вважається варіант збалансованих витрат на створення систем безпеки за рахунок зниження рівня ризику і збільшення вигоди, одержуваної від господарської діяльності;

– повинен враховуватися весь спектр існуючих небезпек, вся інформація про прийняті рішення щодо коригування ризику повинна бути доступна населенню.

Дотримання цих принципів дозволяє коригувати ризик з використанням елементів оптимізації і відрізняється від інших методів збалансованим підходом і можливістю прийняття рішень на основі кількісних показників ризику.

3. Запропоновано і описано метод отримання інтегрованих показників ризику з урахуванням просторово-часових характеристик СХТС. Запропоновано модель і описані методи оцінки експлуатаційної надійності блоків ОПН на підставі формалізації і структурного опису причинно-наслідкових зв'язків шляхом розробки «дерев відмов» FTA.

4. Запропоновано методи аналізу орієнтованого графа, представленого «деревами відмов» на основі використання коефіцієнтів значущості, що до-

зволяє здійснити швидкий спуск до фронту Парето при багатопараметричній оптимізації прийнятих рішень щодо приведення поточного ризику до прийняттого.

5. Запропоновані методи аналізу причинно-наслідкових зв'язків виникнення і розвитку аварій дозволяють виділити множина гілок дерев (а, отже, множина елементарних подій і відмов), для яких показники експлуатаційного ризику перевищені щодо нормативно регламентованих або відносяться до прийнятних обмежень.

6. Удосконалено модель опису впливу стохастичної складової на ризик «верхніх подій» і метод визначення рівня експлуатаційної надійності елементів СХТС, шляхом поєднання дерев відмов, дерев подій та відповідним їм моделей фізичних небезпечних процесів.

7. Запропоновано методи та модель оцінки ймовірності розвитку аварій і рівня ефективності засобів захисту на основі формування сценаріїв, формалізованих за допомогою «дерев подій» (FTA). Даний метод дозволяє:

- відпрацювати кроки, спрямовані на зниження наслідків аварійних подій, підвищення надійності засобів протидії аварії, надійності і ефективності дій персоналу;
- аналізувати і складати групи сценаріїв наслідків аварій для подальшого моделювання негативних впливів аварійних процесів;
- виділити масив сценаріїв розвитку аварій, негативні наслідки яких перевищують показники франшизи і допустимих можливих наслідків.

8. Запропоновані методи опису і аналізу причинно-наслідкових зв'язків аварійних процесів дозволяють формалізувати і ефективно виконати процес підтримки прийняття рішень по досягненню прийняттого рівня ризику.

Матеріали розділу опубліковані в роботах автора [75, 77, 81, 84, 85, 95, 98, 104, 106, 107]

РОЗДІЛ 4 МОДЕЛІ І МЕТОДИ ОЦІНКИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ І НАСЛІДКІВ АВАРІЙ ОБ'ЄКТІВ ПІДВИЩЕНОЇ НЕБЕЗПЕКИ

У розділі представлені методи моделювання небезпечних процесів, що відбуваються при аваріях і отримання кількісних показників безпеки.

Описано методи: отримання необхідної інформації і підготовки вхідних даних, необхідних для оцінки ризику; показників і коефіцієнтів поразок людей і руйнування об'єктів при впливі на них уражаючих і руйнуючих факторів аварій.

Описано методи подання інформації в просторі і часі прояви аварійних процесів з використанням ГІС-технологій.

Представлено низку моделей уражаючих характеристик аварій і методи моделювання вхідних характеристик фізичних процесів, що реалізуються при аваріях.

Описано основні методи визначення збитку і основних показників для прийняття рішень щодо страхування.

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 допустимого залишкового ресурсу. Наведено методи проведення аналізу умов руйнування елементів технологічного обладнання.

На основі інформації, представленої в даному розділі, були розроблені програмні засоби автоматизованої системи підтримки прийняття рішень при оцінці ризику, як частина інформаційної технології, що представлена в наступному розділі.

4.1 Моделювання небезпечних аварійних процесів і методи отримання основних кількісних показників безпеки

Аварії на техногенних об'єктах відбуваються за різними сценаріями з різними наслідками (практично завжди негативними) різного масштабу. Основна характеристика ризику при аваріях – можливі збитки. Збиток настає, в основному, в результаті: загибелі людей, пораненнях і інших наслідків для життя і здоров'я, руйнувань і невідновних втрат об'єктів життєдіяльності, матеріальних цінностей, негативних соціальних наслідків.

Різний перебіг аварій призводить до сукупних втрат різних масштабів. Найчастіше цей масштаб не перевищує деякої величини, яку звично сприймати як франшизу (в сенсі страхових коштів, що не виплачуються). Це означає, що збиток досить малий для того, щоб власник ОПН міг відшкодувати його самостійно без руйнування прибутку виробництва.

Для того, щоб визначити можливі збитки при різних сценаріях виникнення і розвитку аварій, необхідно, перш за все, знати кількісні показники руйнуючих і уражаючих факторів аварій в зонах їх прояви. Для цього необхідно скористатися оцінками і математичним моделюванням негативних фізичних процесів, що відбуваються при аваріях.

У розділах 2 і 3 вже описані деякі властивості цих процесів і найбільш типові схеми їх розвитку (див. рис. 3.4, 3.7).

Кількісні показники ризику, це величини, на підставі яких приймаються рішення щодо об'єктів підвищеної безпеки.

Припускаючи, що ризик – кількісна міра безпеки з урахуванням її наслідків, необхідно визначити види небезпек, по відношенню до яких буде проводитися кількісний аналіз ризику (див. розділ 1). До таких небезпек відносяться різні категорії ураження людей і матеріальні втрати, що виникають при впливі негативних фізичних факторів.

До фізичних факторів уражень людини відносяться: вплив ударної хвилі, фрагментарний вплив елементів конструкцій при їх руйнуванні, теп-

лове випромінювання, відкрите полум'я, осколковий вплив, інгаляційний вплив небезпечних домішок в повітрі (отруєння).

Ураження людей настає в результаті реалізації небезпечних факторів в умовах відкритих майданчиків і в результаті руйнування об'єктів (будівель, конструкцій) за умови знаходження в них людини. Ураження людей враховуємо для наступних категорій (якісний показник):

- летальні (безповоротні);
- тяжкі (призводять до істотних порушень здоров'я, інвалідності, втрати працездатності на тривалий час, що вимагають тривалого і коштовного лікування);
- легкі (потребують відносно короткострокового лікування з можливістю практично повного відновлення функцій і здоров'я).

Для всіх випадків ймовірність ураження людей різного ступеня тяжкості визначається, як це представлено на рисунку 4.1, де R – зона впливу факторами ураження; I – зона смертельного ураження, в якій визначена функція умовної ймовірності летального ураження $P_d = 1$ (ймовірність важких поразок $P_h = 0$, ймовірність легких поразок $P_l = 0$); II – зона вірогідного спільного летального або важкого ураження, в якій визначена функція ймовірності летального ураження P_d і функція ймовірності важкого ураження $P_h = 1 - P_d$ (ймовірність легких поразок $P_l = 0$); III – зона вірогідного легкого ураження, в якій ймовірність легкого ураження $P_l = 1$ (ймовірність летальних поразок $P_d = 0$, ймовірність важких поразок $P_h = 0$). Таким чином, сумарна умовна ймовірність ураження в усьому просторі дорівнює 1.

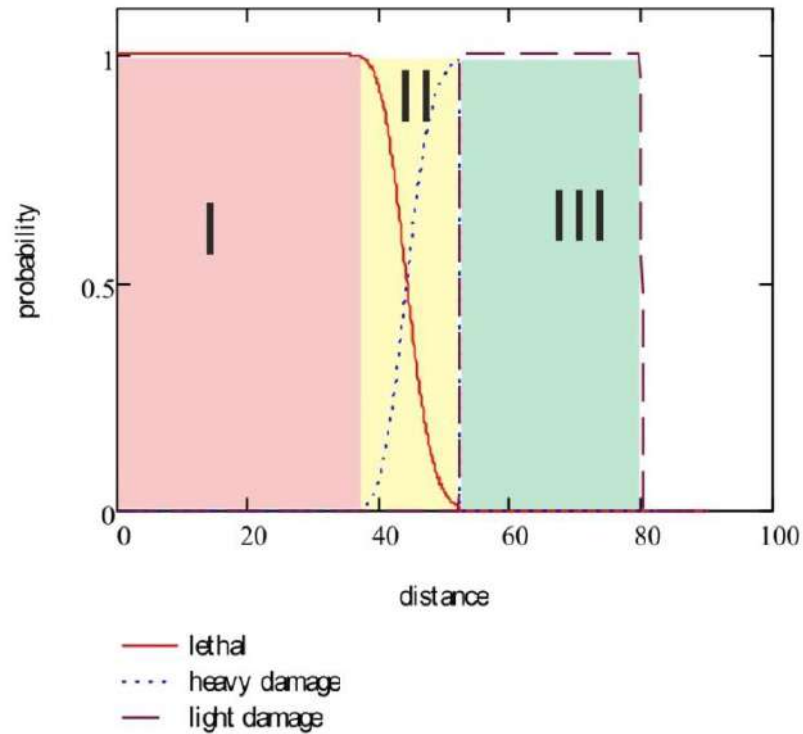


Рис. 4.1. Імовірність поразки в межах зони впливу

Надалі функції умовної ймовірності ураження визначаються як число від 0 до 1. Передбачається, якщо значення функції ймовірності більше або дорівнює 0,99, то йому присвоюється значення 1, якщо значення функції ймовірності менше 0,01, то йому присвоюється значення 0.

Ураження людей всередині об'єктів, що руйнуються визначається відповідно до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Частка поразок людей під час руйнування будівель [191]

руйнування ураження	Повне	Сильне	Середнє	Слабке
Смертельне (lethal)	0,5	0,5	0,1	0
Тяжке (heavy damage)	0,4	0,35	0,15	0
Легке (light damage)	0,03	0,17	0,2	0,05

Руйнування настають в результаті ударно-хвильової дії при вибухах, пробиття осколком, згоряння в пожежі і т. д.

Структура вихідних даних показників ризику містить:

- Поля територіального ризику – узагальнене поле територіального ризику (див. терміни і визначники у додатку А). Являє собою масив координат вузлів сітки реального метричного простору (з заданим кроком по простору) з пов'язаними з ними значеннями ймовірності відповідного ураження. Поля територіального ризику обчислюється для всіх категорій уражень (летальних, важких, легких);

- Розподіл P-N (для всіх категорій уражень), що відображають ймовірність ураження, що впливає на певну кількість людей. Розрахунок проводиться шляхом сканування простору «областей» з підрахунком загального числа людей, для яких ймовірність ураження перевищує шукану;

- Індивідуальний ризик «регіонів» (для всіх категорій уражень), представлений списком «областей» з відповідним значенням індивідуального ризику;

- Ризик руйнування елементів ОПН (будівель, споруд, обладнання), як інтегральний ризик від усіх розглянутих при обчисленні об'єднаного ризику аварійних ситуацій;

- Очікуване число уражених (для всіх категорій уражень), можливе число уражених;

- Очікуваний прямий збиток.

Методи отримання вхідних показників інтегрального ризику зазначені у пунктах 3.1 та 4.1.1.

Для отримання інтегральних показників техногенного ризику для багатьох ОПН в просторі розташування об'єктів турботи вперше пропонується метод побудови гілок графа, що описують реалізацію небезпечних процесів, що виникають при аваріях (див. рис. 2.4). При цьому сполучення різних моделей, що імітують небезпечні процеси, здійснюється за рахунок уніфікації вхідних і вихідних параметрів моделей з використанням xml-структури.

4.1.1 Визначення кількісних показників ризику

Моделювання процесів ризику проводиться в просторі прояви ризику з урахуванням стохастичних характеристик подій і процесів та 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 надійності обладнання та елементів СХТС, паспортні дані та інші. При цьому використовується, в основному, логічне моделювання поєднання подій в досліджуваній системі.

Для отримання показників наслідків необхідно математичне моделювання аварійних процесів і наступних негативних впливів на людей, екологію та об'єкти життєдіяльності. Для цього використовуються, в основному, динамічні математичні моделі фізичних процесів в реальному просторі.

Запропонована організація розрахунків наслідків небезпечних процесів, що заснована на технології використання «плагінів» (plug in) – модулів. Це дозволяє БОПНез зміни основних програмних засобів створювати і підключати нові методи і моделі розрахунків у міру їх розробки. Таким чином, інформаційна технологія оцінки техногенного ризику підтримується інструментальними засобами дозволяють розширювати її область застосування. Зокрема, можна використовувати бази даних, що підтримують різноманітні розм.повсюджені формати даних.

На даний момент в розробленій інформаційній системі впроваджені наступні найбільш використовувані модулі:

1. **Поширення небезпечних домішок (НД) в повітрі.** Метод моделювання заснований на вирішенні гаусової моделі з використанням емпіричних коефіцієнтів турбулентності при поширенні газу (нейтральної щільності) в атмосфері під дією вітру з урахуванням атмосферних умов (вертикальної стратифікації, шорсткості і інших показників), виду місцевості і потужності джерела викиду. Розроблений окремий модуль розрахунків концентрацій НД в просторі і часі класу CFD (*Computational fluid dynamics*). Призначений для моделювання динамічного процесу розсіювання домішки і інгаляційного впливу на людину токсичних речовин. Модель використовується також для визначення динаміки формування пальної паро-газової хмари.

2. **Вибухи.** Метод 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 моделювання і визначення характеристик ударно-хвильових навантажень, можливості ураження людей і руйнування об'єктів (будівель, споруд, обладнання).

3. **Осколки.** Метод заснований на моделюванні процесу утворення осколків різної форми і їх поширення в просторі, ймовірності попадання в об'єкти, можливості ураження людей, пробиття металевих об'єктів обладнання.

4. **Пожежі.** Метод заснований на математичному моделюванні процесів пожежі джерела (проливу), вогненної кулі, факельного горіння (вертикального, горизонтального). Призначений для моделювання характерних розмірів пламен пожежі і впливу теплового випромінювання на людей і матеріали, можливості ураження людей і загоряння матеріалів.

Моделювання на основі елементів теорії подібності передбачає визначення області застосування і області визначення моделей з урахуванням поставлених питань та цілей моделювання.

Область застосування визначається адекватністю кількісних показників моделей описуваних ними процесам в межах точності оцінок поставлених питань дослідження.

Область визначення обмежується набором вхідних даних, при яких обчислені кількісні показники моделі не виходять за рамки сфери застосування моделі.

У даній роботі застосовуються оціночні аналітичні моделі, так як володіють достатньою якістю і точністю при відносній простоті їх використання. Інформаційна технологія реалізована з підтримкою програмних засобів, які дозволяють розширювати склад моделей і структурувати причинно-наслідковий підхід на основі розуміння процесів дослідником.

4.1.1.1 Поширення небезпечних домішок в атмосфері

Токсична домішка становить загрозу отруєння людей, що знаходяться в прилеглому до місця викиду просторі, інгаляційним шляхом в результаті концентраційно-часового впливу. Для визначення кількісних показників цієї загрози необхідно моделювання процесів надходження токсичної домішки в атмосферу (в парогазової фазі), її поширення в навколишньому просторі з урахуванням стохастичних характеристик стану погодних умов, характеристик місцевості, стохастичного характеру впливу домішки на людину і розташування людей в зоні дії небезпечних факторів .

Моделювання поширення домішки в атмосфері широко представлено в науковій літературі [70, 73, 192, 193].

Розподіл концентрацій домішки в часі і просторі в основному моделюється на основі гаусової моделі [70, 73, 164] поширення нейтрального газу. Передбачається, що домішка нейтральної щільності щодо повітря поширюється з точкового джерела в тривимірному просторі в результаті впливу вітру з урахуванням класів стабільності атмосфери. Надходження домішки в атмосферу враховується як «миттєве» і / або тривале у часі. Такі на-

ближення вносять похибку в ближній зоні викиду і не враховують Архімедові сили для важкої і щільної хмари, але ця похибка не вносить значних відхилень в дальній зоні в зв'язку з тим, що на практиці токсичні граничні концентрації досить малі і при змішуванні з повітрям малі концентрації домішки практично не відрізняються по щільності від повітря і не впливають на Архімедові сили спливання або осадження.

При моделюванні з використанням гаусових моделей враховується стратифікація атмосфери, швидкість вітру на різних висотах, суперпозиція різних джерел надходження домішки в атмосферу, рельєф і захищеність місцевості. При цьому в результаті моделювання отримують розподіл концентрації домішки в просторі-часі $cs(x, y, z, t)$, що є основою для визначення причинного коефіцієнту токсичного впливу на людину:

$$\int_{t_b}^{t_e} cs(x, y, z, t)^n dt, \quad (4.1)$$

де t_b і t_e - відповідно дату початку та кінці впливу концентрацій, при яких перевищується концентраційний показник ERPG 1; n - показник ступеня причинного коефіцієнта токсичного впливу.

Маса пального газу, що знаходиться між двома концентраційними межами поширення полум'я виходить шляхом чисельного інтегрування по простору загазованості між заданими концентраційними межами:

$$m(t) = \int_{z_{min}}^{z_{max}} \int_{y_{min}}^{y_{max}} \int_{x_{min}}^{x_{max}} cs(x, y, z, t) dx dy dz, \quad (4.2)$$

Максимальні і мінімальні значення меж інтегрування визначаються верхніми і нижніми концентраційними межами поширення полум'я. Аналогічно, тільки обмежившись верхньою межею поширення полум'я, вважається маса пального вище верхньої межі.

Застосування чисельного моделювання аварійних процесів для аналізу небезпеки та оцінки ризику дозволяє отримати принципово нові результати для прийняття рішень (моделі класу CFD). У даній роботі вперше

запропоновано використання чисельного рішення тривимірної задачі про розсіяння і вибух домішки в атмосфері, розробленої в співавторстві [97, 99, 103].

Адекватний опис фізичних процесів змішання парогазової фази з повітрям і поширення домішки при витoku струменя можливо з вирішенням системи нестационарних рівнянь Нав'є-Стокса для стисненого газу. При описі процесу змішування двокомпонентної 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 з прямолінійними утворюючими, 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 двокомпонентної суміші газів в даній постановці має вигляд [194,195]:

$$\frac{\partial \vec{a}}{\partial t} + \frac{\partial \vec{b}}{\partial x} + \frac{\partial \vec{c}}{\partial y} + \frac{\partial \vec{d}}{\partial z} = \rho \vec{f}, \quad (4.3)$$

де \vec{a} , \vec{b} , \vec{c} , \vec{d} - вектор-стовбці виду:

$$\begin{aligned} \vec{a} &= [\rho, \rho u, \rho v, \rho w, E]^T; \\ \vec{b} &= [\rho u, P + \rho u^2, \rho uv, \rho uw, (E + P)u]^T; \\ \vec{c} &= [\rho v, \rho uv, P + \rho v^2, \rho vw, (E + P)v]^T; \\ \vec{d} &= [\rho w, \rho uw, \rho vw, P + \rho w^2, (E + P)w]^T; \\ \vec{f} &= [0, 0, -g, 0, -gv + e_s / \rho]^T \end{aligned} \quad (4.4)$$

де u, v, w — складові вектору швидкості q ; P, ρ — тиск і щільність; E — повна енергія одиниці об'єму суміші газів; e — внутрішня енергія одиниці маси газу; компоненти вектору \vec{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:

$$\frac{\partial(\rho Q)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u Q)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v Q)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w Q)}{\partial z} = \rho_{Qt} + \rho_{Qs}, \quad (4.5)$$

де Q — відносна масова щільність домішки; ρ_{Qt} — інтенсивність зміни щільності домішки внаслідок дифузії; ρ_{Qs} — інтенсивність зміни щільності домішки внаслідок хімічної реакції.

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

При виборі граничних умов покладається, що складова швидкості витрати не перевищує швидкість звуку. Потік, що набігає на вході в систему визначається функцією ентропії, повної ентальпії, вектором швидкості потоку і відносною масовою щільністю домішки з урахуванням співвідношення для «лівого» інваріанта Рімана.

На виході розрахункового простору задавалися граничні умови на поверхні тих граней розрахункових осередків, які примикають до кордонів розрахункової області і через які передбачається результат виток домішки. В областях виходу, крім атмосферного тиску P_A , яке задається в чисельному експерименті, використовувалися співвідношення для «правого» інваріанта Рімана. У початковий момент часу в усіх розрахункових осередках, які враховані як «газоподібні» для розрахункової області вживаються вхідні параметри, відповідні навколишньому середовищу. В осередках, для яких відбулося наповнення домішкою, відносна масова концентрація суміші приймається $= 1$ (100%). В осередках, для яких відбувається фазовий перехід або витікання палива задається закон динаміки витрат домішки.

Даний метод вирішення і використання його результатів пропонується вперше. Дана модель дозволяє отримати повні дані про газодинамічну систему, такі як просторово-часовий розподіл концентрації домішки, вплив джерел надходження домішки, горіння домішки, фазовий перехід і т. д.

На основі математичної моделі створена комп'ютерна система інженерного аналізу газодинамічних процесів витоку, змішання, розсіювання і вибуху. Модуль дозволяє прогнозувати зміну концентрації домішки в часі і просторі в розрахунковій області і розраховувати параметри ударних хвиль в атмосфері, при детонації, що утворюється при розсіюванні паливоповітряної суміші з використанням персональних комп'ютерів в практично прийнятний час.

Стохастичний характер наслідків впливу на людину негативних факторів аварій врахований, наприклад в універсальному методі визначення ймовірності отруєння інгаляційним шляхом різного ступеня тяжкості. Для цього пропонується користуватися функцією щільності ймовірності наслідків впливу [69]:

$$P = \int_0^x \frac{1}{(2 \cdot \pi)^{1/2} \cdot \sigma \cdot x} \cdot \exp\left[-\frac{(\ln(x) - m^*)^2}{2 \cdot \sigma^2}\right] dx, \quad (4.6)$$

де x - коефіцієнт причини поразки;

σ - 1-й параметр розподілу;

m^* - 2-й параметр розподілу.

Абсолютно ідентична їй функція Гауса (функція помилок):

$$P = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \int_{-\infty}^{Pr-5} \exp\left[-\frac{t^2}{2}\right] dt, \quad (4.7)$$

де Pr - пробіт-функція, що розраховується як $Pr = a + b \ln(x)$. Коефіцієнти a і b отримуються на підставі обробки експериментальних даних. Вони пов'язані з параметрами розподілу на основі залежностей:

$$\sigma = \frac{1}{b}; m^* = \frac{5 - a}{b}.$$

Легкі поразки визначаються на підставі показника AEGL-2, який представлений як нижня межа причинного коефіцієнта, при якому можуть наступити довготривалі несприятливі наслідки для здоров'я. Припускаємо, що люди уражаються у відкритому просторі при прямому впливі на них домішки.

Область визначення моделі обмежена масою або інтенсивністю надходження домішок в атмосферу. $10 \text{ кг} \leq Q \leq 100000 \text{ кг}$. Підсумкова кількість надходження речовини домішки в атмосферу в результаті витоку/випаровування не перевищує 100000 кг. Глибина проникнення хмари по нижньому параметру ERPG 1 не перевищує 100 000 м. Це штучний обмежувач, так як відомо, що стабільність атмосферних умов на таких великих відстанях неможлива.

4.1.1.2 Вибухи.

Вибухові явища при аваріях на виробництві - найбільш небезпечна подія, що приводить до руйнувань, значних матеріальних втрат і поразок людей. Ця небезпека обумовлена швидкоплинністю процесу, потужними ударно-хвильовими навантаженнями, створюваними ударними хвилями, можливістю обвалення будівель і споруд, фрагментарним впливом елементів, що руйнуються.

Найбільш небезпечними вибуховими явищами на виробництві є вибухи:

- конденсованих субстанцій (вибуховими речовинами, речовинами, здатними до екзотермічного розкладання, вступу в реакції з виділенням енергії в рідкому і твердому вигляді і ін.);
- парогазових сумішей з повітрям, здатних займатися;
- фізичний вибух ємнісного обладнання високого тиску;
- фізичний вибух, викликаний різким падінням тиску при руйнуванні апаратів зі скрапленим газом (перегрітою рідиною) - ефект BLEVE (*Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion*).

Руйнування об'єктів (будівель споруд, обладнання, доріг, комунікацій і т. д.) Визначаються на основі емпіричних даних [196].

На основі цих даних створюється таблиця в базі даних наступного змісту (приклад):

BuildID	Name	Full, kPa	Strong, kPa	Middle, kPa	Light, kPa
1 1	Виробничі будівлі з металевим корпусом	60	45	35	25
2 2	Т же з армірован. стін..	70	55	45	30
	...				

В колонках «Повне», «Сильне», «Середнє», «Слабке» наводяться значення надлишкового тиску в фазі стиснення ударної хвилі в кілопаскалях (КПа), при яких реалізуються відповідні види руйнувань.

Під повним руйнуванням мається на увазі безповоротна втрата об'єкту.

При проведенні численних експериментів проводяться порівняння параметрів всіх об'єктів, що потрапляють в зону ударно-хвильової дії з перевищенням граничного надлишкового тиску (зазвичай 3 кПа). Для всіх об'єктів, які отримують певну ступінь руйнування створюється загальна таблиця (приклад):

ID of object	Тип строения	The degree of destruction	Epicentral distance, m	Overpressure, kPa	impulse, kPa * c	Total people on the object	Direct losses	The number of affected by destruction		
								Lethal	Heavy damage	Light damage
123	27	повна	123.7	725	7.2	10	453672	6.3	2.5	1.2
...										

У разі руйнування об'єкту люди можуть бути уражені з різним ступенем тяжкості (див. таб. 4.1). Поразка людей у відкритому просторі в результаті впливу ударних хвиль носить стохастичний характер і залежить від тиску і імпульсу у фронті ударної хвилі. Для кожної точки простору, віддаленого на відстань R від епіцентру визначається $\Delta P(R)$, $J(R)$.

Ймовірність розриву барабанної перетинки. [197]. Якщо надлишковий тиск в k -й точці P_k перевищує 13 000 Па, то ймовірність розриву барабан-

них перетинок визначаємо з використанням залежності (4.1.1.6), в якій приймаємо: x - надлишковий тиск у фронті ударної хвилі ΔP , Па; $m^*=10,8$; $\sigma=0,519$ – параметри розподілу. Якщо $x < 12000$ Па – ймовірність розриву перетинок = 0. Якщо $x > 112900$ Па ймовірність розриву перетинок = 1.

Нас цікавить межа руйнування барабанних перетинок (надлишковий тиск 13 кПа) - межа травмування.

Вірогідність смертельного ураження визначається як максимальне значення з ймовірності крововиливу в легені і ймовірності смерті від удару [69]:

$$P_{dk} = \max \left\{ \int_0^{\Delta P} \frac{1}{(2 \cdot \pi)^{1/2} \cdot \sigma_1 \cdot \Delta P} \cdot \exp \left[\frac{-(\ln(\Delta P) - m_1^*)^2}{2 \cdot \sigma_1^2} \right] d(\Delta P) \right. \\ \left. \int_0^{J_k} \frac{1}{(2 \cdot \pi)^{1/2} \cdot \sigma_2 \cdot J_k} \cdot \exp \left[\frac{-(\ln(J_k) - m_2^*)^2}{2 \cdot \sigma_2^2} \right] dJ_k \right\}, \quad (4.8)$$

де ΔP - надлишковий тиск у фронті ударної хвилі, Па;

$m_1^*=11,9$; $\sigma_1=0,145$ – параметри розподілу для смерті від крововиливу в легені;

J_k - максимальний імпульс позитивної фази в k -й точці, Па*с.

$m_2^*=10,6$; $\sigma_2=0,207$ – параметри розподілу для смерті від удару;

Розрахунок параметрів ударних хвиль проводиться для:

- конденсованих вибухових речовин [198, 199, 197];
- парогазового хмари (детонація вуглеводневих палив) [73, 200].

В [197] наведені дані розрахункових залежностей тиску у фронті ударної хвилі в залежності від швидкості горіння. Ці дані дозволяють припустити, що залежність тиску у фронті ударної хвилі буде зменшуватися зі зменшенням числа Маха. Для визначення параметрів ударних хвиль використовувалися методи, викладені в [69,70,73,164,197] і результати обробки різних експериментальних даних;

- фізичні вибухи першого роду [197, 200] - розширення газових обсягів високого тиску;
- фізичні вибухи другого роду - розширення газопилових систем;
- фізичні вибухи третього роду - розширення обсягів перегрітої рідини;
- BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion – вибух парів рідини що скипає).

Імпульс позитивної фази ударної хвилі при розриві сфери визначається на підставі емпіричних даних, описаних в [197].

Модель розрахунку параметрів хвилі тиску при вибуху резервуара з перегрітої рідини або зрідженим газом описана в [201].

4.1.1.3 Пожежі.

Відкрите об'ємне горіння горючих парів у великих масштабах реалізується при пожежах протоки горючих рідин, виникненні вогняних куль при миттєвих масштабних викидах парогазової фази в атмосферу при наявності джерела запалювання, струменевому (факельному) горінні, що виникає в основному при розриві трубопроводів або потужних витікання палаючої парогазової фази з обладнання. Крім прямого кондукційного впливу полум'я на людей і об'єкти, небезпека пожежі характеризується істотним тепловим випромінюванням (особливо для вогняних куль). При прямому тепловому впливі на людей і горючі матеріали можливе ураження різного ступеня тяжкості і загоряння горючих матеріалів, що знаходяться в зоні прямої експозиції.

Нижче будуть перераховані моделі різних видів пожежі, для яких визначаються основні характеристики:

- характерні розміри пламен;
- часи їх існування;
- теплові навантаження.

В [73] і [201] практично з повним збігом наведені методи розрахунку параметрів вогненної кулі. Параметр кутовий видимості описаний в [201].

Теплове випромінювання визначається як:

$$q(r) = E_f \cdot F_q(r) \cdot \tau(r), \quad (4.9)$$

де E_f для вогненної кулі допускається брати 450 кВт/м².

В якості причинного коефіцієнта поразки пропонується використовувати функцію:

$$x(r) = t_s q(r)^{1.33}, \quad (4.10)$$

Вірогідність смертельного ураження в результаті дії теплового випромінювання пропонується визначати наступною залежністю:

$$P(r) = \begin{cases} 1 & \text{if } x \geq 6000 \\ \int_0^x \frac{1}{(2 \cdot \pi)^{1/2} \cdot \sigma \cdot x} \cdot \exp\left[-\frac{(\ln(x) - m^*)^2}{2 \cdot \sigma^2}\right] dx & \text{if } 957 \leq x < 6000, \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4.11)$$

σ - 1-й параметр розподілу $\sigma = 0.391$;

m^* - 2-й параметр розподілу $m^* = 7.773$.

Енергія, накопичена при впливі теплового випромінювання вогняної кулі визначається як $Q_c = t_s q(r)$, де c - індекс відповідного ступеня ураження. Для опіків встановлюються кордони: 1-го ступеня $Q_1 = 1,2 \cdot 10^2$ кДж/м², 2-го ступеня $Q_2 = 2,2 \cdot 10^2$ кДж/м², 3-го ступеня $Q_3 = 3,2 \cdot 10^2$ кДж/м² [201]. Необхідно обчислити відстані від центру протоки до місць, де досягаються зазначені енергії.

Розрахунок параметрів пожежі протоки можна проводити з використанням даних [70,73].

Значення ефективного випромінювання полум'я E_f для протоки автор пропонує апроксимувати на підставі експериментальних даних:

$$E_f = a \cdot \exp(-b \cdot d) + a \cdot b, \quad (4.12)$$

де a , b – емпіричні коефіцієнти; d - еквівалентний діаметр протоки.

При відсутності даних (діаметра вогнища або відповідних коефіцієнтів), допускається приймати E_f рівним: для СУГ – 100 кВт/м², для нафтопродуктів – 40 кВт/м².

Опіки визначаються не підставі тих же граничних показників, що і для вогненної кулі з урахуванням виходу людини в безпечну зону.

Методика визначення параметрів вертикального факела добре описана і заснована на даних [73]. Факел представлений вертикальним циліндром. Розраховується теплове випромінювання факела і геометричні параметри палаючої суміші.

Для горизонтального факела пропонується скористатися даними [202]. Факел представлений горизонтальним циліндром. Розраховується теплове випромінювання факела і геометричні параметри палаючої суміші.

Горизонтальний факел розглядається як циліндр, що лежить на землі довжиною L висотою (діаметр факелу) h_m .

4.1.1.4 Уламки.

При вибухах, або інших аварійних процесах можуть виникати ситуації з утворенням фрагментів обладнання з великою кінетичною енергією. Розліт таких фрагментів в навколишньому просторі несе загрозу ударного впливу на елементи обладнання та людей. Вплив осколків на обладнання, в якому під тиском звертаються небезпечні речовини, є найбільш важливою причиною виникнення ефекту «доміно».

Для оцінки ступеня потенційної небезпеки необхідно вводити такі параметри осколків: масу m (кг), початкову швидкість уламку W_0 (м/с), кут викиду по відношенню до горизонту α (град), висота точки викиду над рівнем землі h (м), площа опору A_D , типову форму уламка і його орієнтацію по відношенню до осі руху.

Модель траєкторії уламка складної форми без впливу підйомної сили.

W_0 - початкова швидкість уламка масою m , (м/с);

α_0 - початковий кут вильоту по відношенню до горизонту (град);

g - прискорення вільного падіння;

F_D - сила лобового опору;

v_i і α_i - миттєві значення швидкості і кута напрямку руху по відношенню до горизонту відповідно.

Сила лобового опору:

$$F_D = \frac{C_D \cdot \rho \cdot v^2 A_D}{2}, \quad (4.13)$$

де ρ - щільність повітря (1,2928 кг/м³); C_D - коефіцієнт лобового опору. Коефіцієнти лобового опору для різних тіл представлені в [197].

Представивши сили, що діють на тіло протягом польоту в проекціях на вертикальну і горизонтальну осі, маємо:

$$\begin{aligned} ma_{xi} &= -\frac{C_D \cdot \rho \cdot A_D \cdot v_i^2 \cdot \cos(\alpha_i)}{2}, \\ ma_{yi} &= -\frac{C_D \cdot \rho \cdot A_D \cdot v_i^2 \cdot \sin(\alpha_i)}{2} - mg \end{aligned} \quad (4.14)$$

Чисельне рішення цієї системи рівнянь дозволяє обчислити траєкторію і інші характеристики фрагментів при наступних початкових і граничних умовах:

$$x_1 = W_0 \cdot \cos(\alpha_0); \quad y_1 = y_0 + W_0 \cdot \sin(\alpha_0). \quad (4.15)$$

Так як під час польоту без планування можливо тільки рух зі збільшенням кроку по горизонталі, то припускаємо зміна кута α від $\frac{\pi}{2}$ до $\frac{-\pi}{2}$.

Вибір коефіцієнта опору і параметри для обчислення площі лобового опору задаються при виборі геометричної форми уламка.

Визначення ймовірності попадання уламка в об'єкт.

Уламок здатний потрапити в об'єкт, якщо його траєкторія перетинається з геометричним контуром об'єкта. Для спрощення системи користування, об'єкт представляється як циліндр, розташований в площині траєкторії польоту.

Відстань до місця вильоту уламка, геометричні характеристики об'єкта задаються при наповненні властивостей об'єкта. Для спрощення, об'єкт представлений циліндром з радіусом, відповідним еквівалентної площі об'єкта.

Відстань від точки вильоту до об'єкта дорівнює x_1 , глибина об'єкта дорівнює $x_2 - x_1$, висота об'єкта дорівнює y_1 , кут сектора попадання по горизонталі

$$\gamma = 2 \cdot a \sin\left(\frac{((x_2 - x_1)/2)}{x_1 + (x_2 - x_1)/2}\right),$$

діапазон граничних кутів вильоту,

при яких можливе попадання в об'єкт $\alpha^d_{max} - \alpha^d_{min}$.

Ймовірність влучення в об'єкт при заданих параметрах уламка (фіксованою масі, початкової швидкості вильоту і обраної моделі) автор визначає як добуток ймовірностей реалізації кутів попадання по вертикалі і горизонталі:

$$P_d = \frac{2(\alpha^d_{max} - \alpha^d_{min})}{\pi} \cdot \frac{\gamma}{2 \cdot \pi} \quad (4.16)$$

Для визначення кутів виконується весь набір розрахунків при змінних кутах вильоту, визначається траєкторія і порівнюються отримані значення з параметрами об'єкта.

Пробиття уламком тонких металевих стінок.

В [197] описаний метод визначення швидкості уламка з заданими характеристиками, при якій ймовірність пробиття металевої стінки з відомими характеристиками відповідає 0.5.

При відомих наступних параметрах:

m - маса уламка, кг;

ρ_p - щільність матеріалу уламка, кг/м³;

ρ_t - щільність матеріалу стінки, кг/м³;

σ_t - межа плинності матеріалу стінки, Па;

h - товщина стінки, м;

Обчислення швидкості пробиття (ймовірність 0,5) пропонується описати рівнянням:

$$V_{50} = \frac{3.5 \cdot h \cdot (\sigma_t \cdot \rho_t)^{1/2}}{\rho_p \cdot \left(\frac{3 \cdot m}{4 \cdot \pi \cdot \rho_p} \right)^{1/3}} \quad (4.17)$$

Для кожного випадку потрапляння в об'єкт, визначається швидкість в точці попадання і порівнюється з V_{50} , і в разі її перевищення, робиться висновок про пробитті стінки даного об'єкта.

Поразка людей уламками.

В [197] наведені дані залежності ураження людей уламком від маси і швидкості уламка. В [203] наведені більш песимістичні прогнози, що визначають поріг виживання при попаданні уламка в людини. Для осколків масою понад 4,5 кг приведена пробитий-функція:

$$Pr = -13.19 + 10.45 \ln(v),$$

де v - швидкість уламка (м/с).

При цьому, якщо швидкість менше 4 м/с можна вважати, що ймовірність ураження дорівнює 0. Якщо швидкість перевищує 8 м/с, ймовірність ураження дорівнює 1.

Для осколків масою від 0,1 до 4,5 кг:

$$Pr = -17.56 + 5.30 \ln(S),$$

$$\text{де } S = \frac{mv^2}{2}.$$

Для осколків масою від 0,001 до 0,1 кг:

$$Pr = -29.15 + 2.10 \ln(S),$$

$$\text{де } S = mv^{5.115}.$$

Легко визначити, що для перелічених вище умов, коефіцієнти для обчислення ймовірності смертельного ураження при попаданні уламка в людину визначається як:

- $m \geq 4.5$ кг: $\sigma = 0.095$; $m^* = 1.726$; $x = v$ и при $v \leq 4$ $P_{df} = 0$, а при $v \geq 8$ $P_{df} = 1$;

- $0.1 < m < 4.5$ кг: $\sigma = 0.189$; $m^* = 4.257$; $x = \frac{mv^2}{2}$ и $x \leq 32$ $P_{df} = 0$, а при $x \geq 120$ $P_{df} = 1$;

- $0.001 \leq m \leq 0.1$ кг: $\sigma = 0.476$; $m^* = 16.262$; $x = mv^{5.115}$ и $x \leq 2 \cdot 10^6$ $P_{df} = 0$, а при $x \geq 5 \cdot 10^7$ $P_{df} = 1$.

При покроковому виборі умов вильоту осколків, очевидно, що осколок може потрапити на однакову відстань при двох кутах вильоту. При цьому кінцеві швидкості (на рівні землі) будуть різні. Швидкість і маса уламка визначають ймовірність ураження людини. Таким чином, можлива різна ймовірність ураження на однаковій відстані. Для отримання максимального значення ймовірності ураження необхідно застосувати алгоритм згладжування. Підсумкова ймовірність ураження людей в прилеглому просторі визначається з урахуванням ймовірності попадання уламка в будь-яку точку прилеглого простору в зоні розльоту як відношення площі всіх осколків (площі розривається апарату) до площі, утвореної радіусом, рівним максимальній дальності польоту уламка.

Наведені вдосконалені моделі дозволяють врахувати взаємозв'язок аварійних процесів і їх вплив на наслідки ланцюга аварійних подій, таких як, наприклад, виникнення ефекту «доміно».

4.1.2 Підготовка вхідних даних. Отримання необхідної інформації

Основою для розрахунку ризику є список джерел небезпеки. Джерела небезпеки, перераховані в проекті повинні мати повний набір даних для ав-

томатичного розрахунку показників об'єднаного ризику. Це означає, що інформація, пов'язана зі обліковим складом джерел небезпеки обробляється тільки в тому випадку, якщо заповнені обов'язкові поля.

Обов'язковими вхідними даними для розрахунку показників об'єднаного ризику створеного проекту (має ім'я) є:

- Ідентифікатор джерела небезпеки, для якого розглядається аварійна ситуація (унікальний текст);

- Координати (x, y, z) його розташування в просторі.

- Обліковий склад розрахунків (моделей і найменувань розрахунків), вироблених за допомогою моделей фізичних процесів, які використовуються при розрахунках показників ризику, обумовленого відповідними джерелами небезпеки. Дані кожної моделі повинні бути також повними. Склад моделей формується з існуючих списків і наповнюються (настроюються) з використанням інтерфейсу окремих модулів.

- «Роза вітрів», представлена даними, описаними в розділі.

- Набір «дерев відмов», відповідних даному джерелу небезпеки. Кожне дерево з цього набору повинно мати повний набір даних з завершеним розрахунком ймовірності верхньої події.

- Набір «дерев подій», відповідний набору «дерев відмов» з повним набором даних і настройками даних для моделей фізичних процесів.

- Список об'єктів, наповнених властивостями, необхідними для розрахунків.

- Додатковими вхідними даними для розрахунку показників об'єднаного ризику створеного проекту є: векторні дані (карта), що містять набір об'єктів, які мають необхідний набір даних для розрахунків; набір «областей» з відповідними властивостями.

Дані розрахунку об'єднаного ризику можуть редагуватися, зберігатися, копіюватися, експортуватися і т. д. Об'єкти містять дані «графіки» і дані властивостей, необхідних для розрахунків.

Загальні властивості містять поля:

- Тип об'єкту (Object Type): «конструкція» (будівля, обладнання..), «область» (вільний простір з розташованими в його зоні людьми);
- Назва (ID/Title): (номер) об'єкту;
- Ім'я/Описе (Name/Description): назва або опис об'єкта;
- Кількість людей (Human Count): число людей на об'єкті;
- Вартість (Price): вартість об'єкта (пряма залишкова);
- Елемент (Element): (вибирається зі списку) найбільш характерне речовина, що представляє небезпеку на даному об'єкті;
- Будівлі (Building): (вибирається зі списку) вид конструкції (об'єктів, обладнання) найбільш характерний для впливу ударно-хвильових навантажень;
- Поверхня (Surface Base): (вибирається зі списку) підгрунття поверхні (тип на випадок протоки);
- Міцність (Strength): (вибирається зі списку) можливий матеріал конструкції обладнання, який може бути пошкоджений при фрагментарному або ударно-хвильовому впливі;
- Займистість (Inflammability): (вибирається зі списку) список матеріалів, які можуть займатися при дії теплового випромінювання;
- Шорсткість (Roughness): (вибирається зі списку) типова місцевість в області існування джерела небезпеки;
- Товщина стінки (Wall Thickness): товщина металевої стінки обладнання, яка може бути пробита уламком;
- Висота (Height): висота об'єкта.

Наведені дані не є обов'язковими (крім ID). Ступінь їх наповнення необхідна в залежності від того, яке дослідження (розрахунок) буде застосовуватися до даних об'єктів. Далі описані методи оцінок і розрахунків, що застосовуються.

Метеорологічні дані, властиві даної місцевості характеризуються «розою вітрів». Роза вітрів, побудована за реальними даними спостережень, дозволяє по довжині променів побудованого багатокутника виявити ймовір-

ність напрямків вітру, а також ймовірність швидкості на висоті 10 метрів. На рис. 4.2 представлена діаграма для 16 секторів напрямків вітру.

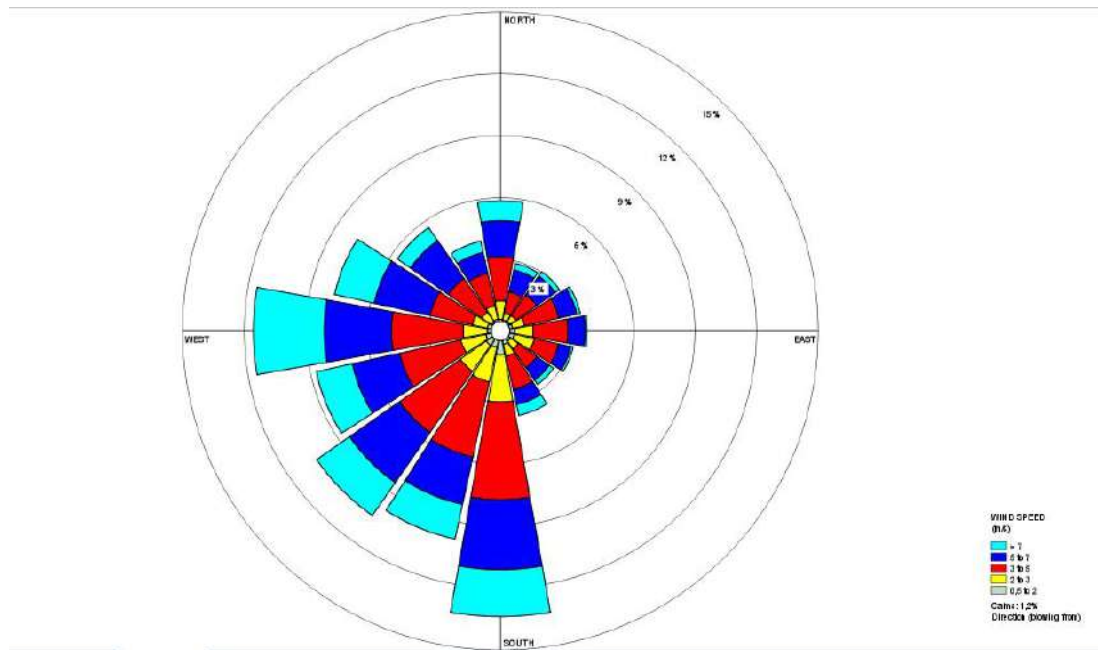


Рис. 4.2. Роза вітрів для обраної місцевості

Існують дані для 4, 8 і 16 секторів. Найбільш поширені дані для 8 секторів, але краще для 16. Роза вітрів будується на підставі даних вимірювань, отриманих протягом певного періоду і представлених в табличному вигляді.

Дані в таблиці, число секторів і класів вітру редагується і задається відповідно до доступних досліднику даних. Рекомендується використовувати фіксоване, представлене в таблиці число діапазонів швидкостей вітру. Дані для рози вітрів можна отримати безпосередньо з метеорологічних даних або провести заміри (зібрати дані інших вимірів) і обробити їх для наповнення таблиць за результатами спостережень.

У більшості випадків дані метеорологічних спостережень доступні у вигляді стандартних файлів, представлених відкритим форматом (наприклад, LAKES FORMAT).

Для визначення кількісних показників експлуатаційної надійності елементів СХТС з метою використання їх в «деревах відмов» і «деревах подій» і інших методів визначення показників ризику пропонується метод і структура бази даних по надійності. База даних по надійності (БДН) призначена для збору, обробки, зберігання та систематизації даних по надійності обладнання, засобів КВП і А, засобів ПАЗ (протиаварійного захисту), які використовуються в якості вихідних даних, для оцінки ймовірності виникнення аварії, для оцінки достатності заходів щодо забезпечення безпеки.

БДН містить два види даних по надійності:

- дані по надійності з літературних джерел - з паспортів, ТУ на виріб, ГОСТів, довідників, статей, звітів;
- дані по експлуатаційної надійності, зібрані на підприємствах, де проводилася оцінка ризику або цілеспрямований збір даних для визначення надійності.

БДН містить розділи: арматура і трубопроводи, КВП і А, обладнання, системи ПАЗ, персонал та інші. Кожен розділ складається з підрозділів. Структура БДН гнучка, дозволяє вносити нові розділи, а в розділи - нові підрозділи, коригувати їх.

Для наповнення бази даних необхідно зібрати і обробити інформацію безпосередньо на експлуатованих об'єктах. Збір інформації полягає в пошуку даних про фактичний час роботи обладнання і кількості відмов за певний період спостереження (від декількох місяців до 10 років). Ця інформація може бути отримана з ремонтних журналів, журналів обліку фактичного пробігу обладнання або з паспортів обладнання. Якщо обладнання працює протягом кількох років, є інформація за цей період (від 2-х до 10 років) і час роботи зведено за рік, то складається документ за формою:

Найменування обладнання	Найменування типу обладнання	Найменування робочого середовища	Позиція обладнання за схемою	Пробіг в годинах по рокам						Кількість відмов за весь період спостереження ($N_{отк}$)	сумарний пробіг, ч ($T_{сум}$)
				1	2	3	9	10		
1	2	3	4	5	6	7	8-12	13	14	15	16

Якщо обладнання працює протягом одного неповного року, то тоді є інформація про пробіг по місяцях (від 1-х до 12 міс.).

4.1.3 Визначення коефіцієнтів уражень і дані стійкості об'єктів

Поразка людей в результаті інгаляційного впливу токсичної домішки може бути визначена шляхом розрахунку «доз» токсичної речовини, ймовірно отриманої при попаданні людини в зону перевищення гранично допустимих концентрацій домішок і ймовірності відповідного виду поразки на підставі обробки експериментальних даних при дослідженні токсичних властивостей небезпечних речовин.

Різні підходи до визначення ступеня і виду ураження людей характеризуються різними критеріями (індексами). Критерії U. S. Environmental Protection Agency (EPA - агентство захисту навколишнього середовища США) запропоновані наступними показниками:

AEGLs (Acute Exposure Guideline Levels) represent threshold exposure limits for the general public and are applicable to emergency exposure periods ranging from 10 min to 8 h.

Під AEGL-1 мається на увазі рівень концентраційно-часового впливу (виражений для концентрацій як ppm або mg / m³) НХР, вище якого передбачено, що загальне населення, включаючи сприйнятливих індивідуумів, може відчувати якийсь дискомфорт, роздратування, або деякі безсимптомні несенсорні ефекти. Однак, ці ефекти не виводять людей з ладу і оборотні після припинення впливу. Можна припускати цю межу як небезпечну зону.

AEGL-2 – рівень впливу, вище якого передбачено, що загальне населення, включаючи сприйнятливих індивідуумів, може отримати незворотні або інші серйозні, тривалі несприятливі наслідки для здоров'я або стан, при якому людина не зможе покинути небезпечну зону самостійно. Можна припускати цей рівень межею зони ураження.

AEGL-3 рівень впливу, вище якого для середнього населення можливо отримати небезпечні для життя ураження або смертельне вплив.

До іншими показниками відносяться:

ERPG (emergency response planning guidelines) - Американська Індустриальна Асоціації Гігієни (AIHA 2001):

ERPG-1 - максимальна концентрація, нижче якої, майже всі люди могли бути піддані дії НХР протягом 1 години, не відчуваючи інших проявів, крім помірних, перехідних несприятливих ефектів для здоров'я або неприємних відчуттів.

ERPG-2 - максимальна концентрація, нижче якої вважається, що майже всі індивідууми можуть бути піддані впливу протягом 1 години, не піддаючись незворотних або інших серйозних наслідків для здоров'я, і не могли бути позбавлені можливості дій зі свого захисту.

ERPG-3 - максимальна концентрація викиду, нижче якої вплив протягом 1 години не дає небезпечні для життя наслідки.

EEGL (emergency exposure guidance level) - комісія з ядерного врегулювання (NRC 1985). Цей показник являє собою концентраційний рівень на робочому місці, не допускає смерті або довгострокових травм і хронічних захворювань. Можливі ефекти сп'яніння, недуга або інші переносяться наслідки. Призначався для військового персоналу.

OSHA PEL-ceiling (permissible exposure limit-ceiling of the Occupational Safety and Health Administration) (OSHA 1997) неприпустима межа перевищення протягом робочого дня ні для миттєвого виміру ні для 15 хвилинного контролю.

IDLH (immediately dangerous to life and health standard of the National Institute of Occupational Safety and Health) – національний інститут професійної безпеки і здоров'я (NIOSH 1994). IDLH представляє максимальну концентрацію, при впливі якої людина могла б евакуюватися протягом 30 хвилин без будь-яких ознак або незворотних шкідливих ефектів для здоров'я і можливості порятунку.

Необхідно відзначити, що тільки параметри AEGl можуть бути оброблені для отримання концентраційно-часових характеристик наслідків інгаляційного впливу. Інші параметри відносяться до одних фіксованим часів і є граничними концентраційними показниками.

Найчастіше користуються обмежує показниками для виробництв допустима концентрація робочої зони (ГДК) і токсодоза порогова або смертельна (PCt_{50}, LCt_{50}).

Сучасні методи визначення поширення НХР в атмосфері дозволяють визначити зміну концентрації в часі і просторі $c(x, y, z, t)$. До них відносяться методи з використанням гаусових залежностей, чисельні методи рішення систем рівнянь газової динаміки конвективного переносу з урахуванням турбулентного розсіювання в атмосфері.

Зазвичай під «токсодозой» розуміють параметр $C \cdot t$, де C - концентрація в мг/л, t - період часу впливу даної концентрацією в хв. У разі впливу змінної концентрації прийнятним є $\int_{t_b}^{t_e} c(t) dt$, де $c(t)$ - функція концентрації в заданій точці простору з фіксованими координатами (x, y, z) . В даному випадку мова може йти про інгаляційній токсодозі.

Термін «токсодоза» введений раніше для визначення меж поразок при катастрофічних аварій для прогнозування служб ЦО і НС. Він має обмежену в часі впливу область застосування. Плутанина виникає також при порівнянні інгаляційної токсодоза і понятті - летальної дози речовини. Під $LD50$ зазвичай розуміють дозу небезпечної речовини, засвоєну тваринам або людиною, при якій настає 50 процентна смертність. Одиниця виміру цього параметра мг / кг (відношення кількості небезпечної речовини до кілограму ваги тварини або людини). У будь-якому випадку доза є параметром маси, а не концентрації і часу. У літературі наводиться параметр $LC50$ - концентрація, при якій настає 50 процентна смертність. Зазвичай $LC50$ представлена в мг/л.

Проблема у визначенні наслідків впливу хімічної речовини на організм людини полягає в тому, що ці наслідки настають у результаті різних механізмів порушення нормальної діяльності організму. Небезпечну речовину може бути причиною дратівної, нервовопаралітичного, загальної токсичної дії. При деяких концентраціях токсичних речовин в дихальній суміші людини або в довікллі можуть наступити серйозні наслідки або навіть смерть ще до того, як інтегральний концентраційно-часовий натиск $(\int_{t_b}^{t_e} c(t) dt)$ досягне свого граничного значення межі зони звичайного поразки. У цьому плані формальне використання такого критерію може призвести до помилкових висновків про ступінь небезпеки того чи іншого впливу.

Імовірність різних ступенів отруєнь можна визначати на підставі функції щільності ймовірності ураження (див. формулу 4. 6, 4.7)

$Pr = a + b \ln(x)$ - пробіт-функція, що залежить від концентрації і часу. коефіцієнти a і b отримуються на підставі обробки експериментальних даних. В якості причинного коефіцієнту інгаляційного ураження зазвичай виступає $\int_{t_b}^{t_e} c(t)^n dt$.

При цьому найчастіше концентрація вимірюється в ppm , час впливу в хвилинах. Незважаючи на зовнішню схожість причинного коефіцієнту і інтегральної функції токсодози, вони істотно відрізняються завдяки ступеневому показнику n . Наприклад, при визначенні причинного коефіцієнта поразки рівня AEGl-3 для хлору, необхідно виконання рівності: $c_1^n t_1 = c_2^n t_2 = c_3^n t_3 = c_4^n t_4 = c_5^n t_5$

t_i , хв.	10	30	60	240	480
c_i , ppm	50	28	20	10	7.1

Виконання цієї рівності має найменше максимальне відхилення від середнього значення $\overline{c_i^n \cdot t_i}$ при $n=2$.

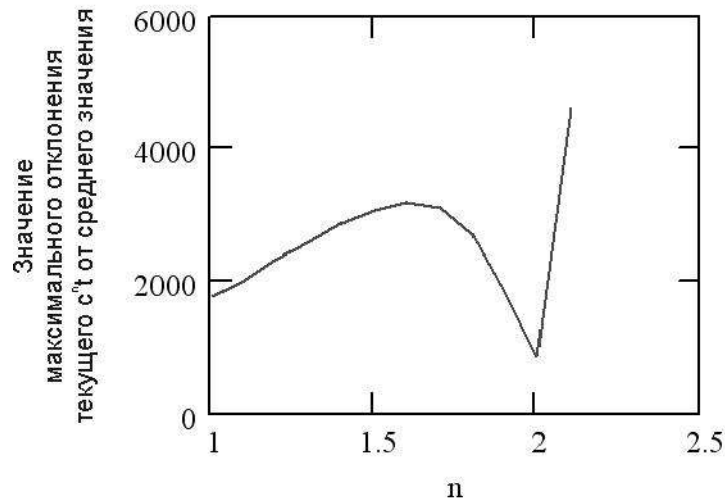


Рис. 4.23. Значення відхилення від $\overline{c_i^n \cdot t_i}$ для різних показників концентрації та часу одного і того ж виду впливу при різних показниках ступеня n

Якщо прийняти, що AEGЛ-3 відповідає кордону смертельних уражень (ймовірність смертельного ураження $\approx 0.01\%$), ми маємо одну точку для визначення ймовірності смертельного ураження. Для отримання всіх необхідних коефіцієнтів функції розподілу ймовірності смертельного ураження, необхідно отримати ще хоча б одну точку для іншого значення ймовірності смертельного ураження хлором. Задовільно отримати значення для 50% смертності (або іншого значення), але пошук таких даних для людини викликає суттєві труднощі. Так, в більшості довідкової літератури дані наведені в кращому випадку для щурів, в гіршому носять загальний описовий характер без кількісних показників. Наприклад, для хлору 20% відгук смертністю для щурів спостерігався при впливі концентрацією 200 *ppm* протягом 60 хвилин. Для людей такі показники вище.

В [206, 207] запропоновані наступні критерії: Assessment of the Dangerous Toxic Load (DTL) for Specified Level of Toxicity (SLOT) and Significant Likelihood of Death (SLOD). Критерій SLOT DTL можна приймати як причинний коефіцієнт для 0,1% смертельного ураження, критерій SLOD DTL може вважатися причинним коефіцієнтом для 50% смертельного ураження. У зазначених джерелах наводяться дані приблизно для 165 ре-

човин. При наявності таких даних не складає труднощів визначити всі необхідні коефіцієнти для ймовірності смертельного ураження людини.

Труднощі виникають при отриманні достовірних показників ймовірності загибелі людей і межі зони можливого смертельного ураження. Розкид показників різних джерел не настільки критичний, так як при визначенні ризику можна користуватися найбільш консервативними оцінками.

Зі сказаного вище можна робити такі висновки:

1. Формальне представлення «токсодоза», дане в деяких методиках і керівних документах і механічне використання цього параметра може призвести до зниження показників реальної небезпеки при прогнозуванні розсіювання НХР в атмосфері.

2. Так як отруєння людей в результаті інгаляційного впливу НХР обумовлені різними механізмами, при визначенні виду і ступеня ураження необхідно користуватися причинним коефіцієнтом, для якого емпіричні дані визначені в найбільш надійних джерелах.

3. В якості кордону зони ураження людей НХР пропонується [80] використовувати критерій AEGL-2, який представлений як нижню межу, при якому можуть наступити довготривалі несприятливі наслідки для здоров'я. Критерій AEGL-2 визначено більш ніж для 170 речовин.

4. Межею зони смертельного ураження вважати лінію поля умовної ймовірності 1% смертельного ураження

5. У зв'язку з істотною розбіжністю значень граничних критеріїв поразок необхідно приймати найбільш консервативні дані.

Стійкість об'єктів до впливу ударно-хвильових навантажень або теплового впливу, а також можливого пробиття осколками автором дисертації пропонується визначати на підставі емпіричних даних, представлених в технічній літературі, в деяких випадках в паспортних даних або характеристиках будівель і об'єктів. Наприклад, в [196, 199, 205] представлені в табличному вигляді дані про граничні значення надлишкового тиску у фронті ударної хвилі, що призводять до різних типів руйнувань для різних об'єктів:

	BuildID	Name	Full, kPa	Strong, kPa	Middle, kPa	Light, kPa
1	1	Промышленные здания с металлическим каркасом	60	45	35	25
2	2	То же с армированием стен..	70	55	45	30
		...				

У базу даних вноситься інформація про стійкість досліджуваних об'єктів. В результаті проведення розрахунків уражаючих факторів для кожного об'єкта, розташованого в зоні ударно-хвильової дії відомо усереднену величину надлишкового тиску у фронті ударної хвилі, яка впливає на периметр об'єкта. Після простого порівняння визначається ступінь руйнувань. До об'єктів відносяться не тільки будівлі, але і споруди, транспортні засоби, елементи обладнання та т. Д. Ймовірність влучення в обладнання та ймовірність пробиття металевих стінок найбільш небезпечних елементів СХТС, що знаходяться під тиском описана в підрозділі 4.1.1.4.

4.1.4 Моделювання вхідних параметрів розвитку аварій

Деякі процеси при аваріях досить типові. Автор дисертації пропонує методи, найбільш використовувані в подієвій моделі. Наприклад, оцінка параметрів викиду газової фази з обладнання, що знаходиться під тиском може бути проведена на основі нестационарної ізотермічної моделі газового потоку. Виток рідкої фази оцінюється за допомогою моделювання потоків нестисливої рідини в результаті дії стовпа рідини і внутрішнього тиску в обладнанні з урахуванням гідравлічного і місцевого опору. Моделювання випаровування дозволяє визначити динамічні характеристики процесу випаровування проливу не киплячої рідини в атмосферу з урахуванням теплових потоків підстильної поверхні, швидкості вітру, радіаційного та кондукційного теплообміну з атмосферою, а також оцінити пароутворення перегрітих рідин і зріджених сумішей. Приклади роботи допоміжних моделей визначення вхідних параметрів аварій в середовищі програмного комплексу

підтримки прийняття рішень щодо регулювання техногенного ризику представлений в додатку Е. Наведені нижче моделі синтезовані з використанням даних різних джерел.

Модель витікання через аварійне отвір.

Прийняті допущення і обмеження:

1. Закінчення газу відбувається з ємності постійного відомого обмеженого обсягу V_c при відомих початкових умовах.
2. В процесі витікання тиск в ємності регулюється двома процесами: втратою маси газу з ємності в результаті витікання через отвір з відомою площею F_2 в атмосферу і додатковим приходом маси газу в ємність через отвір з іншою відомою площею F_1 .
3. Всі процеси відбуваються при постійній температурі.
4. Початковий тиск в ємності задається дослідником і дорівнює P_s . Атмосферний тиск дорівнює P_a . Тиск джерела P_s залишається постійним протягом всього часу розрахунку.
5. Джерело може бути перекрите протягом заданого часу.

В [208] розглянуто задачу витікання газу з ємності обмеженого обсягу. Запропоновано розраховувати масову витрату як:

$$\frac{dM(t)}{dt} = \mu \cdot F \cdot \psi_i \sqrt{\frac{P_i}{\nu_i}}, \quad (4.18)$$

де $\frac{dM(t)}{dt}$ - масова витрата, кг/сек;

μ - коефіцієнт витрати отвору;

F - площа перетину отвору витікання, м²;

P_i - тиск в ємності в i -й момент часу, Па;

ν_i - питомий об'єм в ємності в i -й момент часу, м³/кг.

Коефіцієнт ψ_i визначається як:

$$\psi = \sqrt{2 \left(\frac{k}{k-1} \right) \left[(\beta)^{\frac{2}{k}} - (\beta)^{\frac{k+1}{k}} \right]}, \quad (4.19)$$

, де β вибирається з умов:

$$\beta = \begin{cases} \frac{P_1}{P_2} \text{ если } \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}} \leq \frac{P_1}{P_2} \\ \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}} \text{ если } \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}} > \frac{P_1}{P_2} \end{cases}, \quad (4.20)$$

де P_2 - тиск в просторі, звідки відбувається витікання, Па;

P_1 - тиск в просторі, куди відбувається витікання, Па;

k - показник адіабати (відношення теплоємностей c_p / c_v) витікаючого газу.

Чисельне рішення описаного процесу дозволяє отримати миттєве значення витрати через аварійне отвір з урахуванням паралельного процесу надходження від суміжного обладнання. Таке надходження з джерела закінчується в розрахунку по досягненні часу перекриття джерела, введеного дослідником.

Витікання газу через місцеві та гідравлічні елементи опору.

Прийняті допущення і обмеження (крім викладених вище). Тиск в ємності регулюється двома процесами: втратою маси газу з ємності в результаті витікання через отвір з відомою (відносно невеликий) площею F_2 в атмосферу і додатковим приходом маси газу в ємність через отвір з іншою відомою площею F_1 (а) або витікання через систему місцевих та гідравлічних опорів (б) (трубопроводи h_{ti} і запірні арматура h_{di}).

Припускаємо витікання через круглі труби (в інших ситуаціях в [209] запропонований метод визначення необхідних коефіцієнтів).

Якщо елемент є гідравлічним опором, дослідник для кожного елемента вводить: l - довжину трубопроводу в метрах, d - діаметр трубопроводу в метрах, Δ - еквівалентну абсолютну шорсткість труби (мм) [210], ν - кінематичну в'язкість газу ($\text{м}^2/\text{с}$). Якщо елемент є місцевим опором, необхідно ввести коефіцієнт місцевого опору ζ_i [211], молекулярну масу газу μ

(кг/моль), температуру газу всередині обладнання T (К). Підсумковим діаметром витікання є діаметр отвору аварійного витікання.

Для розрахунку необхідно ввести початковий тиск в обладнанні P_s (Па) і атмосферний тиск, діаметр отвору виходить вода підживлення.

Перепад тисків між ємністю витікання і середовищем витікання для системи місцевих і гідравлічних опорів приймається рівним [209]:

$$P_s - P_a = \bar{\rho} \cdot g \cdot \frac{\bar{w}^2}{2 \cdot g} \cdot \left(\sum_{i=1}^m \lambda_i \cdot \frac{l_i}{d_i} + \sum_{j=1}^n \zeta_j \right), \quad (4.21)$$

де \bar{w} - середня швидкість потоку (м/с);

$$\bar{\rho} = \frac{P_s + P_a}{2} \cdot \frac{\mu}{RT} - \text{середня щільність потоку (кг/м}^3\text{);}$$

$$\lambda_i = 0.11 \left(\frac{\Delta \cdot 10^{-3}}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0.25} - \text{гідравлічний коефіцієнт тертя (формула Альтштуля).$$

Так як нас цікавлять суттєві викиди, то припускаємо, що в подальшому будемо мати справу з турбулентними режимами, успішно описуваними цією формулою.

З огляду на, що формула Альтштуля описує турбулентні режими і практично не залежить від перепадів швидкості при значних швидкостях витікань, а в більшій мірі залежить від в'язкості газу і шорсткості стінок труби, обмежимося усередненим наближенням швидкості потоку.

Знаючи перепад тисків між ємністю і середовищем витікання, можна обчислити середню швидкість з підсумкового рівняння:

$$\left(\frac{P_s - P_a}{P_s + P_a} \right) \cdot \frac{4RT}{\mu} = \bar{w}^2 \cdot \left(0.11 \cdot \sum_{i=1}^m \left(\frac{\Delta_i \cdot 10^{-3}}{d_i} + \frac{68 \cdot \nu}{\bar{w} \cdot d_i} \right)^{0.25} \cdot \frac{l_i}{d_i} + \sum_{j=1}^n \zeta_j \right), \quad (4.22)$$

Визначити швидкість \bar{w} можна численно. Так як досягнення критичного режиму витікання не дозволяє швидкості течії перевищити швидкість звуку в звичайних трубопроводах, то припускаємо, що середня швидкість витікання не перевищує швидкість звуку.

Масова витрата системи дорівнює:

$$\frac{\Delta M_\tau}{\Delta \tau} = \frac{\bar{w}}{8} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot \frac{(P_s + P_a)\mu}{RT}, \quad (4.23)$$

В цьому випадку d - діаметр отвору витікання. У зв'язку з похибкою визначення середньої швидкості витікання через систему місцевих та гідравлічних опорів, при розрахунках вибирається мінімальне значення з витрати через аварійне отвір і систему опорів.

Втрата маси з ємності в одиницю часу розраховується так само, як і в попередньому прикладі. Отримані результати розрахунку можуть використовуватися при розрахунках параметрів поширення хімічної домішки в газовій фазі в атмосфері.

Випаровування багатокомпонентної суміші.

Для обліку освіти парогазової фази небезпечної речовини для перегрітих сумішей або зріджених газів автором запропонована модель, що враховує закон збереження енергії. Рівняння енергетичного балансу в різницевій формі для багатокомпонентної суміші з урахуванням переходу масу кожної компоненти в газову фазу представлено як:

$$T^\tau \cdot \sum_{i=1}^n m_i^\tau c_i = T^{\tau+1} \cdot \sum_{i=1}^n m_i^{\tau+1} c_i + T^\tau \cdot \sum_{i=1}^n \Delta m_i c_i + \sum_{i=1}^n \Delta m_i L_{vi}, \quad (4.24)$$

де індекс τ означає попередню ітерацію, $\tau + 1$ - послідууючу;

T^τ - температура рідини на попередній ітерації;

$T^{\tau+1}$ - температура рідини на наступній ітерації;

m_i - масова доля i -ї компоненти;

c_i - теплоємність i -ї компоненти;

Δm_i - зміна маси рідкої фази i -ї компоненти;

L_{vi} - теплота паротворення i -ї компоненти;

n - число компонент в суміші.

Вирішуючи рівняння з урахуванням законів Рауля, можна отримати рівняння зміни температури перегріву:

Згідно з другим законом Рауля, температура кипіння суміші залежить від мольного складу суміші. Іншими словами, в межах точності, що цікавить нас, можемо припускати, що температура кипіння суміші дорівнює:

$$T_{ks}^{\tau} = \sum_i T_{k0i} \cdot Md_i^{\tau}, \quad (4.25)$$

де T_{k0i} - температура кипіння чистої i -ї компоненти при атмосферному тиску;

Md_i^{τ} - поточна молярна частка i -ї компоненти в розчині.

Молярна частка кожної компоненти визначається як:

$$Md_i^{\tau} = \left(\frac{m_i^{\tau}}{M_i} \right) \cdot \left(\sum_{i=1}^n \frac{m_i^{\tau}}{M_i} \right)^{-1}, \quad (4.26)$$

При ітераційному вирішенні на кожному кроці необхідно відстежувати зменшення маси кожного компонента і перераховувати мольну частку кожного компонента, а також поточну температуру кипіння суміші.

Розрахунок припиняється, якщо температура рідини стає рівною або менше поточної температури кипіння суміші T_{ks}^{τ} .

Частина рідини, що залишилася розливається по поверхні протоки при останній розрахунковій температурі. Вихідними параметрами розрахунку є: маси компонент, що вийшли за рахунок перегріву, загальна температура суміші до моменту закінчення виходу за рахунок перегріву, загальна маса залишилася суміші і її масові частки всіх компонент, що лишилися.

Формування вибухонебезпечної хмари моделюється методами, описаними в розділі 4.1.1.1. При цьому визначаються динамічні і просторові характеристики хмари домішку, з концентрацією, що перевищує нижню межу поширення полум'я.

Програмні засоби комплексу, що розробляється дозволяють підключати будь-які розрахункові модулі, зроблені зовнішніми засобами як об'єкти dll шляхом опису в xml структурах вхідних і вихідних даних моделей, їх сполучення та включення в структуру проекту без зміни і додаткової компі-

ляції основних програмних засобів, що дозволяє розширювати програмні засоби комплексу без звернення до основного розробника програмного забезпечення.

4.2 Методи представлення інформації з використанням ГІС технологій. Облік просторово-часових характеристик аварійних процесів

Моделювання аварійних процесів, оцінка рівня небезпеки, поразок і руйнувань, показників ризику, проводиться для об'єктів і людей, розташованих в метричному просторі-часі. Розподіл об'єктів, небезпечних домішок, теплової, ударної дії, осколків і інших досліджуваних елементів єдиної системи ризику здійснюється в тривимірному просторі, масштабованому пропорційно в межах коректної подібності процесів.

Для реалізації інформаційної технології оцінки ризику і розробці програмних засобів, необхідно використання геоінформаційних систем подання та обробки інформації. Теоретично для вирішення цього завдання могли б підійти різні системи, наприклад ArcGIS, GRASS, QGIS, скористатися послугами таких сервісів як Google Maps чи інших. Однак, після аналізу особливостей методів і завдань, що виникають при оцінці ризику прийнято рішення про розробку самостійних засобів об'єктного представлення графічної інформації з дотриманням основних принципів ГІС.

Розробка проведення з урахуванням основних стандартів ISO 9001, TickIT, SEI SW-CMM і інших. Програмування виконувалося в середовищі C++ з використанням відкритих бібліотек, характерних для додатків GPS. При цьому крім картографічної інформації, вводиться багат шарова структура представлення зв'язної інформації об'єктів.

Графічні засоби програмного забезпечення дозволяють уявити пошарово об'єктні дані будь-яких метричних елементів, таких як: карти (растрові метричні об'єкти, масштабовані в системі ECEF (Earth Centered, Earth Fixed)

і мають прив'язку до географічних даних в довготі і широті), регіони (простір розподілу людей), об'єкти життєдіяльності, джерела небезпеки та ін.

Принцип представлення графічної і об'єктної інформації показаний на рис. 4.4.

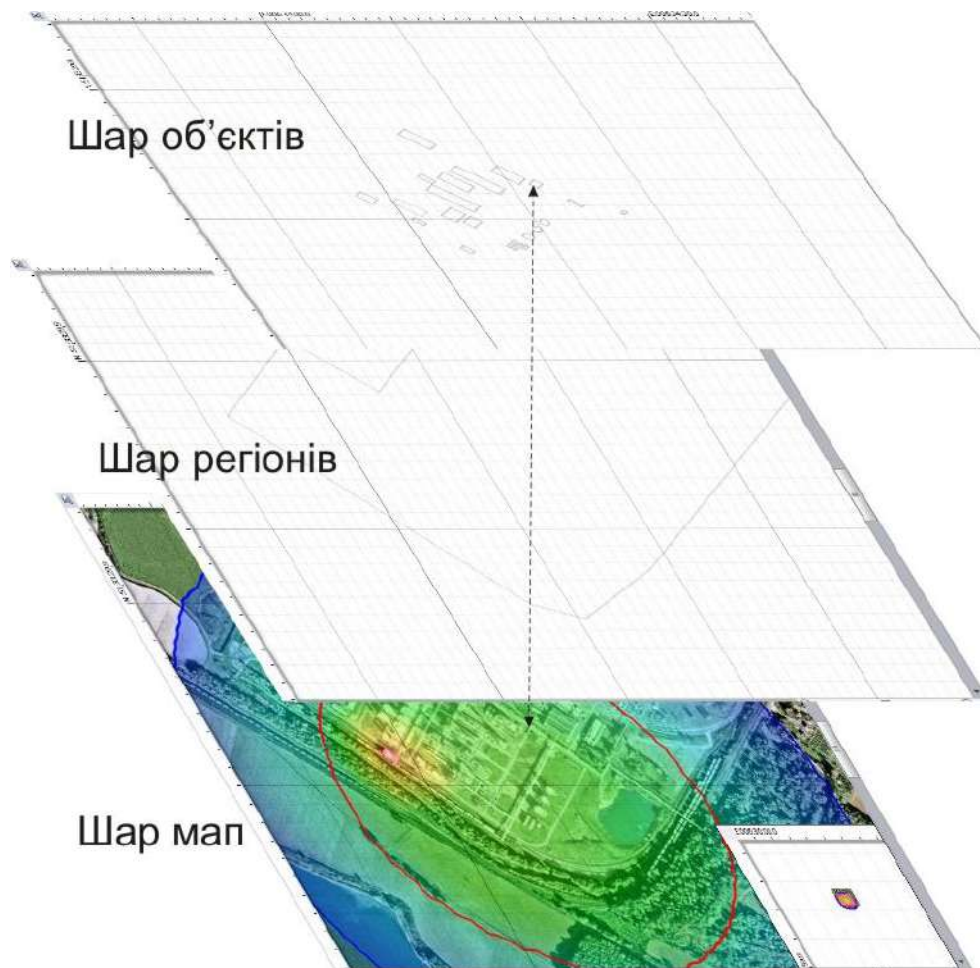


Рис. 4.4. Структура представлення картографічної інформації

Число шарів необмежено. Всі шари і об'єкти пов'язані в єдиній системі координат і обчислення відстаней між об'єктами, інша інформація визначається на підставі внутрішніх даних графічних об'єктів.

Метричний простір представлено географічними координатами, в якому всі об'єкти мають координатну прив'язку. Самі об'єкти формуються набором координат, «фігур» (задаються формально), властивостями і приналежністю до відповідних шарам і проектам. «Постаті» відносяться до стандартних графічним елементам (еліпс, паралелепіпед, пряма, ламана, лінія

Без'є і ін.) і поділяються на «замкнуті» (які мають площу) і «незамкнуті» (довільні лінії). Для внесення при необхідності тривимірних даних, об'єктів присвоюється властивість «висота». Таким чином, об'єкт набуває обсяг як «фігура підйому».

Також об'єктними елементами представляються всі графічні елементи розрахункових даних, що мають просторові характеристики. Наприклад, на рис. 4.5 показані зони граничного теплового впливу (червона і синя границі).

Замкнені об'єкти можуть містити такі дані як: розміщення людей, міцності по відношенню до ударно-хвильовому впливу, вогнетривкості властивості, вартість і ін.

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.



Рис. 4.5. Подання графічної інформації

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).

На рис. 4.6 показані деякі можливості виведення графічних розрахункових даних як на карті (палітрою показані концентрації домішки, що перевищують допустимі), так і керованим графіком зміни маси домішки в часі.

Подання графічної інформації в 3D просторі реалізовано з можливістю відображення лінеаризації відображуваних даних з будь-якого напрямку. Наприклад, можна отримати графік розподілу концентрації домішки, з перетину концентрацій на рис. 4.6 в напрямку вітру.

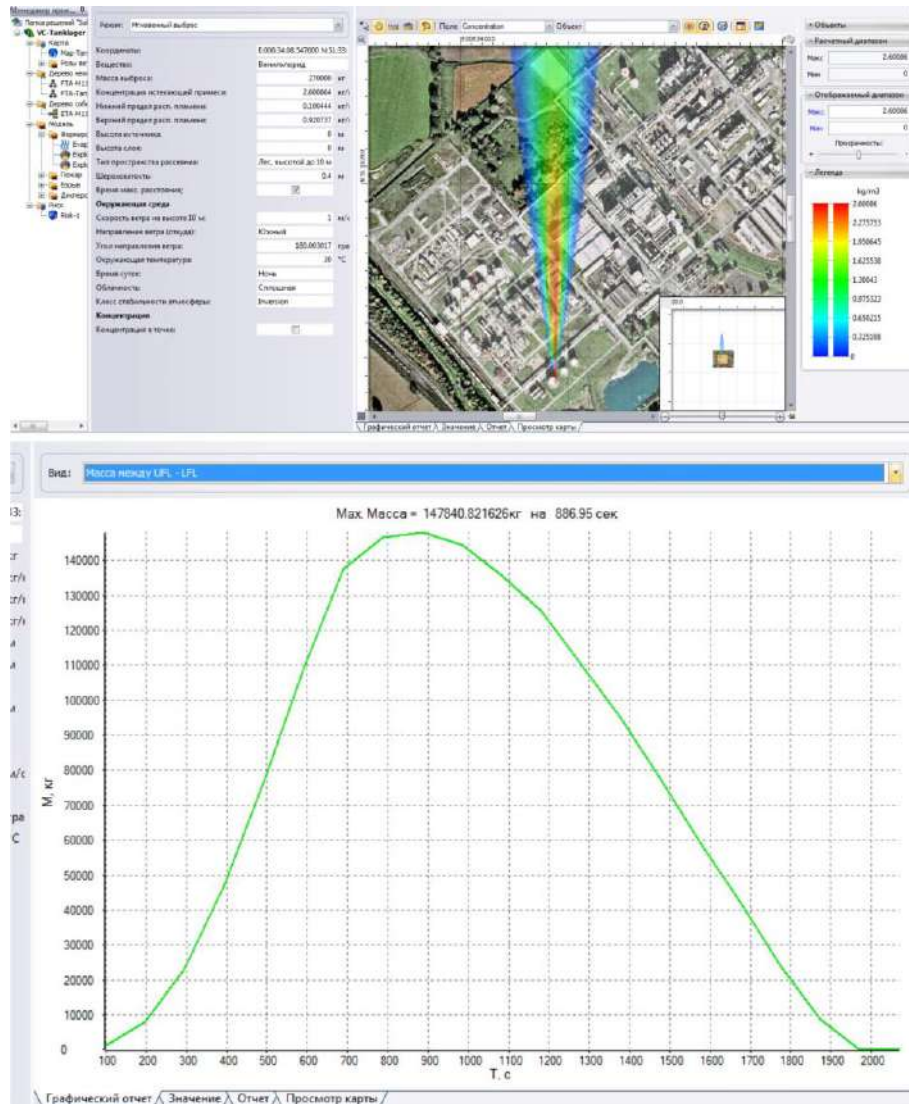


Рис. 4.6. Представлення результатів обчислень в графіку

4.3 Методи визначення збитку від аварій

Визначення кількісних показників шкоди, що виникає при аваріях може виявитися дуже складним завданням. Для прийняття рішень частіше за все 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 наступні позиції:

1. збиток розділяється на «прямий», «відкладений», «супутній» і т. д.;
2. існує корелюючий взаємозв'язок між «прямим» і іншими видами збитку. Це означає, що «прямий» збиток лежить в основі наслідків, одержаних в результаті його настання;
3. необхідно розділяти форми настання збитку. Наприклад, смертельні, важкі, легкі ураження людей в результаті впливу на них уражаючих факторів аварій; руйнування та пошкодження об'єктів життєдіяльності, матеріалів і ресурсів, інших об'єктів відповідальності; знищення і пошкодження екологічної системи в зонах впливу ризику; соціальні проблеми та політичні наслідки великих аварій, що призводять до економічних потрясінь і ін. .;
4. важливо визначити рівень максимально можливого збитку (прямого і відкладеного) PML, більш якого прояв ризику неможливо для досліджуваного об'єкта з урахуванням всіх форм настання збитку;
5. необхідно виділяти збиток, що наноситься третім особам від шкоди, яку несе власник ОПН. Для цього в автоматизованій системі підтримки рішень по оцінці техногенного ризику передбачено поділ в проекті приналежності об'єктів відповідальності різним власникам і можливо автоматичне виділення власності третіх осіб.

Прямий збиток визначається як інтегральні втрати, що настають безпосередньо в результаті реалізації аварій. При цьому всі показники зводяться до фінансових, як універсальних показників збитку.

Людські втрати можуть бути представлені у фінансовому обчисленні. Це не знищує моральних принципів, але дає можливість прийняття рішень на підставі порівняння однотипних показників. Для кожного регіону фінансові втрати при загибелі, важких ураженнях і легких наслідки різні. Тому при розрахунку збитку поразок людей розраховують типові для регіону показники, після чого користуються показниками ймовірно ураженої кількості людей (очікуваних поразок).

Ризик \mathbf{R} в загальному випадку визначають шляхом розрахунку суми добутків можливих дискретних показників поразок і збитку здоров'я персоналу або сторонніх людей U_i на ймовірності їх реалізації P_i : $R = \sum_{i=1}^N P_i \cdot U_i$, де N - кількість дискретних показників можливих негативних наслідків (збитків одного типу і розмірності) або груп, об'єднаних за певною ознакою.

Значення, що розраховується є математичне сподівання дискретної випадкової величини - загибелі або збитку здоров'ю людини. Якщо збиток відноситься до неперервної випадкової величини, яка має щільність розподілу $f(U)$, то ризик розраховують за формулою $R = \int Uf(U) dU$.

Інтеграл обчислюється по всьому інтервалу функції збитку U .

Показники випадкових величин, так само як і значення ймовірності і збитку, частіше за все, обчислюють за репрезентативною вибіркою, що має обмеження за обсягом і часом. В такому випадку: $R^* = \sum_{i=1}^N P_i^* \cdot U_i$, де R^* - оцінка ризику на основі статданих; P_i^* - частота реалізації U_i збитку здоров'ю і життю людей.

Збиток здоров'ю та життю людей (далі - збитки, в зв'язку з поразкою) пов'язаний з впливом негативних і (або) небезпечних техногенних факторів і проявляється у вигляді профзахворювань (інвалідності або хронічних) і (або) травм, отриманих на виробництві.

На практиці застосовуються такі показники збитку:

- число і тяжкість професійних захворювань;

- період часу, протягом якої втрачена працездатність;
- загальна кількість посібників, пов'язаних з тимчасовою непрацездатністю;
- кількість випадків втрати професійної здатності;
- ступінь втрати професійної працездатності у відсотках;
- загальна кількість витрат на забезпечення по страхуванню, пов'язаного з даним видом діяльності та інші показники.

Крім кількісних значень також використовують і якісні значення збитку. Для оцінки матеріального збитку, нанесеного об'єктам в результаті аварій враховується в основному ударно-хвильовий вплив вибуху. Об'єкти, що потрапляють в зону прямого впливу полум'я можна вважати повністю знищеними (консервативний підхід).

У додатку В наводиться приклад формування методу розрахунку збитку, що виникає при аваріях.

4.4 Метод аналізу показників ризику для обґрунтування прийняття рішень по досягненню прийняттого ризику

Показники ризику можуть бути основою для прийняття рішень на будь-якому рівні оцінки ризику. Наприклад, оцінка можливого і очікуваного збитку може бути основою для проведення актуарних розрахунків, рівня франшизи, вимог до рівня експлуатаційної надійності елементів СХТС, поля територіального ризику показові при оцінці просторових характеристик небезпек, очікуване число уражених може використовуватися при складанні планів ліквідації аварій.

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 фінансових 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.

3. Очікуваний збиток. Відповідність можливого збитку і ймовірності його реалізації дає можливість сортувати і виділити множина 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, показники соціального ризику.

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

Метод аналізу показників ризику засновані на послідовній локалізації та визначенні причин і характеристик технологічних показників, що призводять до неприйнятного рівня ризику. На рис. 4.7 наводиться схема послідовного аналізу показників ризику.

Завдання аналізу ризику полягає: у визначенні меж простору ризику, об'єктів відповідальності, схильних до 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 ймовірність відмов цих елементів; проведенні передстрахової процедури і подальшого обов'язкового страхування відповідальності перед третіми особами; обґрунтування рішення розбіжностей триумвірату учасників ризику. Важливі процедури вироблення рішень щодо підвищення експлуатаційної надійності СХТС зазначені у пунктах 4.4.1 і 4.4.2.



Рис. 4.7. Схема аналізу ризику

Метод аналізу ризику полягає у виділенні підмножин елементів функції ризику (формула (2.8)), для яких показники ризику перевищують допустимі. Виділені сценарії \mathcal{S}_i для всіх i -х підсистем, що призводять до підвищених значень вектору ймовірності \vec{P} підсистем, настання несприятливих наслідків \vec{D} і послідовні сортування по спадаючій небезпечних показників дозволяють знайти підмножини технологічних елементів СХТС, ймовірність відмови яких визначає перевищення допустимого ризику. Для всіх таких елементів необхідно провести аналіз критичності відмов і виробити рішення щодо визначення їх залишкового ресурсу, рівня експлуатаційної надійності та ремонтно-відновлювальних процедур.

4.4.1 Проведення SIL аналізу і методи оптимізації вироблення вимог надійності до АСУ.

Особливе місце для електронних, електричних і програмованих пристроїв (систем управління (E / E / PES)) займає інтегральний рівень безпеки (SAFETY INTEGRITY LEVEL (SIL) - IEC 61508/61511) [152- 159, 214, 215]. Цей вид аналізу дозволяє розробити всі заходи, необхідні для приведення рівня повноти безпеки E / E / PE до заданого на основі моделювання повного життєвого циклу роботи АСУ в галузі безпеки.

Основним завданням SIL аналізу є вироблення вимог до функціональної безпеки систем електричних, електронних, програмованих електронних, пов'язаних з безпечним управлінням технологічних процесів.

Якщо визначати безпеку як «простір свободи від неприпустимого ризику» і ризик як об'єднання ймовірності виникнення збитків і тяжкості наслідків від нього, то допустимим можна вважати ризик, який влаштовує всіх учасників ризику в даних обставинах з урахуванням існуючих в поточний момент суспільних цінностей [152].

Першим показником, який визначає SIL (Safety Integrity Level), є середня ймовірність відмови на запит виконання функції безпеки PFD (Probability of Failure on Demand). Фактор зниження ризику RRF (Risk Reduction Factor), що є відношенням частоти інцидентів без прийняття захисних заходів і допустимої частоти інцидентів, являє собою зворотну величину PFD: $RRF = 1 / PFD$. У відповідності зі стандартами IEC 61508 визначені рівні повноти безпеки SIL відповідні інтенсивності запитів. Наприклад, якщо $PFD_{avg} = 0.001$ ($RRF = 1000$), це означає, що протягом року (8760 годин) в середньому протягом 8.8 години на рік неможливо буде забезпечити переклад контрольованого технологічного процесу в безпечний стан при виникненні такої необхідності. Якщо дані рівень безпеки незадовільний, то потрібно підвищувати RRF.

MTTF (Mean Time To Failure) – середній час напрацювання на відмову це середній час успішної роботи системи до настання відмови її функцій (по будь-якої причини, крім планової зупинки). Цей же показник може бути прийнятий як середній час служби без ремонту і відновлення. Ремонтпридатність пристроїв розглядається як середній час їх відновлення MTTR (Mean Time To Repair).

Середній час між двома послідовними відмовами MTBF (Mean Time Between Failurs) звичайно дорівнює $MTTF + MTTR$ і є величиною, зворотної інтенсивності відмов λ . Відмови розглядаються як небезпечні (що призводять до втрати функції безпеки) або безпечні (коли система не втрачає рівня безпеки). Для визначення категорії інтенсивності відмов зазвичай на етапі проектування конкретних пристроїв виконується аналіз видів відмов і діагностики (Failure Mode Effect and Diagnostic Analysis - FMEDA) [150].

Другим параметром, що визначає SIL, є частка безпечних відмов SFF (Safety Failure Fraction). $SFF = 1 - (\text{частота небезпечних відмов, що не виявляються } \lambda_{du}) / (\text{інтегральна частота інших категорій відмов})$.

У режимі з низькою інтенсивністю запитів зазвичай не більше одного запиту в рік або не вище частоти перевірочних тестів в два рази. У режимі з високою інтенсивністю запитів - частота звернень до функції безпеки перевищує більш ніж 1 раз на рік і більш ніж в два рази частоту виконання перевірочних тестів.

Наведені значення ставляться до виконання дій, забезпечують-вающих безпеку SIF в цілому для всієї системи, а не для окремих її складових. Різниця між близькими рівнями SIF відповідає одному порядку (в 10 разів). Точно також в один порядок (10) відрізняються мінімальне і максимальне значення кожного рівня SIF. Наприклад, $RRF = 110$ визначається рівнем SIL 2 і $RRF = 910$ теж знаходиться в межах SIL 2, але між цими значеннями очевидно велика різниця, тому ці показники непорівнянні, незважаючи на те що обидва показники відповідають рівню SIL 2.

Багато експертів вважають, що рівень SIF (1 - 4), встановлений для технологічної функції безпеки SIF, буде залишатися постійним. Це типове оману, оскільки уявлення про інтегральний рівні безпеки SIF залежить від кількісного значення PFD (імовірності небезпечного відмови), яке росте в часі. Рівень SIF залишається постійним тільки протягом деякого встановленого періоду часу T_{proof} - це часовий інтервал між проведенням перевірочних тестів системи безпеки, при котрому діагностуються приховані відмови. Зазвичай цей період становить 0.5, 1, 2, 5, 10, і більше років. Існують спеціальні процедури виконання діагностичних тестів, призначених для визначення інтенсивності небезпечних невиявлених відмов для кожного елемента і пристрої, які не виявляються звичайними безперервними або віддаленими тестами. Якщо не виконувати ці тести періодично з установленим періодом, то значення PFD функції безпеки SIL змінить значення із заданого рівня SIL в більш низький рівень. Рівень SIL, який відповідає інтервалу $T_{proof} = 1$ рік, значно відрізняється від рівня, рівного інтервалу 10 років, незважаючи на те, що обидва рівні виконують одну і ту ж функцію безпеки. Для поліпшення рівня SIL для конкретної SIF можливо застосовувати такі методи: зменшення міжтестового інтервалу і використання резервного повторення функцій безпеки з використанням однотипних пристроїв. Можливо також комбінування різних способів.

Зазвичай, дані для розрахунку PFD_{avg} і визначення рівнів SIL компонентів розподілених систем управління і протиаварійних захистів повинні бути в керівництві по функціональній безпеки, що поставляється виробником даних компонентів. Потрібно відзначити, що при проектуванні систем на першій стадії життєвого циклу повинен бути виконаний аналіз небезпеки та ризику для системи в цілому з урахуванням елементів E / E / PES (електронних, електричних, програмованих), представлені повні вимоги до безпеки і провести розподіл вимог до безпеки з урахуванням наступних стадій життєвого циклу (реалізації, впровадження) для:

- E/E/PE систем, пов'язаних з безпекою;

- систем, пов'язаних з безпекою, заснованих на інших технологіях;
- зовнішніх коштів зменшення ризику.

Починаючи з цих дій, застосування аналізу за допомогою «дерева несправностей» і «дерева подій» стає актуальним. Процедура розподілу вимог до SIL представлена в додатку А (табл. А.4).

На наступних стадіях життєвого циклу (реалізація систем управління і безпеки; повна установка і запуск в дію; повне підтвердження відповідності безпеки; експлуатація, обслуговування, ремонт; модифікація; виведення з експлуатації) шляхом редагування та аналізу вже створених «дерев» можливо прийняття рішень щодо рівня SIL. Для цього виконується наступна процедура:

1. Встановлюється максимальний допустимий рівень ймовірності реалізації «верхньої події» в дереві відмов (і так для всіх дерев), всередині якого враховані Е / Е / РЕ системи, пов'язані з безпекою роботи СХТС;

2. Всім елементам Е / Е / РЕ системи призначається ймовірність відмови 0,5;

3. Проводиться обчислення ймовірності «верхньої події» і, якщо вона перевищує максимально допустиму, то всі аварійні поєднання даного дерева упорядковано відповідно до величиною критичного коефіцієнта значущості;

4. Для елементів поєднань дерева, що мають максимальний вплив на зміну ймовірності верхнього події (використовуються коефіцієнти значущості) і відносяться до Е / Е / РЕ ймовірність відмови зменшується вдвічі (множить на 0,5);

5. Проводяться операції пункту 3 і 4. Так робиться до тих пір, поки ймовірність «верхнього події» дерева відмов не знизиться до прийнятної величини.

За допомогою цього методу досягається якнайшвидший спуск до мінімально необхідного рівня надійності Е / Е / РЕ елементів СХТС

4.4.2 Оцінка надійності елементів ОПН.

В процесі *експлуатації* або *реконструкції* небезпечного виробничого об'єкта мета аналізу ризику полягає в наступному:

- порівняння відповідності поточних умов експлуатації нормативним вимогам безпеки ОПН;

- коригування інформації про найбільш важливі небезпечні процеси і ситуації, а також ризику (включаючи розробку декларації промислової безпеки);

- розробка рекомендацій для роботи наглядових органів і організації внутрішнього аудиту;

- модернізацію інструкцій по експлуатації та технічному обслуговуванню, заходів локалізації та ліквідації аварій на небезпечному виробничому об'єкті;

- оцінка наслідків зміни в структурній організації, методах практичної роботи і видах техобслуговування щодо поліпшення роботи систем управління промисловою безпекою.

Руйнування, викликані процесами корозії в навантажених системах (КМР) відносяться до найбільш небезпечних видів пошкоджень обладнання в хімічній, нафтохімічній, газовій, металургійній, енергетичній, ядерній, машинобудівній та інших галузях і являє собою процес руйнування в результаті впливу статичних, динамічних або періодичних навантажень в умовах впливу активної корозійної реакції. Корозійні процеси супроводжуються зміною структури і зниженням механічних властивостей, при яких відбувається накопичення руйнівних змін в конструкційних сплавах. Вплив КМР спостерігається в трубах і апаратах, що працюють під тиском, обладнанні ТЕЦ, ГРЕС, АЕС, парових турбінах, нафто- і газо-проводах та ін. Застосування спеціальних сталей, термічної обробки і засобів антикорозійного захисту - не завжди достатньо ефективний захід протидії руйнівним факторам КМР. У цих умовах актуальне завдання - забезпечення безпечної экс-

плуатації технологічного обладнання при значних КМР і вичерпання проектного ресурсу.

При експлуатації обладнання на небезпечних виробничих об'єктах обов'язкова умова - виконання вимог промислової безпеки. У число цих вимог входить періодична перевірка технічного стану обладнання, спрямована на визначення і оцінку пошкоджень, отриманих при експлуатації і залишкового ресурсу, який можна вважати безпечним.

Аналіз умов руйнування елементів технологічного обладнання показує, що найбільш ймовірні причини пошкоджень і руйнувань можна встановити лише на основі комплексного розгляду всього життєвого циклу продукції (обладнання, агрегати і т. д.), що включає стадії науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт, виробництва та експлуатації виробів. Проведення такого аналізу представляє нетривіальну задачу, поетапне вирішення якої можливе за схемою, наведеною на рис. 4.8

Ґрунтуючись на прийнятих технічних рішеннях, занесених в базу даних і спрямованих на управління рівнем безпеки експлуатації обладнання з урахуванням критеріїв ризику та ймовірності відмови, була розроблена схема циклу просування інформаційних потоків, які змінюються в процесі експлуатації старіючих елементів обладнання, контрольованих і керованих на підставі якісних показників.

Для нормативного забезпечення обліку вихідних даних і систематизації даних про внутрішнє і зовнішнє середовище експлуатації ОПН розроблені і впроваджені нормативні документи по проведенні діагностування та відновлювального ремонту обладнання.

В результаті впровадження концепції та систематизації діагностування пропонується корекція методів обстеження, з'ясуванні обсягів і термінів вивчення стану обладнання за рахунок зменшення ризику відмови пошкоджених елементів з урахуванням їх поточного стану. Обробка даних і результати використання запропонованих методів підтверджують можливість перерозподілу до 50% сил і засобів виробництва технологічних елементів з

рівнем ризику несправності рівня $Ra1$, $Ra2$ на елементи з рівнем ризику несправності $Ra5$, $Ra4$, $Ra3$.



Рис. 4.8. Замкнутий цикл потоків даних інформаційної системи контрольованої експлуатації елементів СХТС з урахуванням показників ризику

При підборі методів аналізу ризику необхідно погоджувати цілі і завдання аналізу, ступінь складності досліджуваних об'єктів, повноту використовуваних вхідних даних, а також кваліфікаційний рівень фахівців, які проводять аналіз. Найбільш прийнятними вважаються методи, затверджені або рекомендовані наглядовими органами.

На етапі планування визначаються організаційні рішення, які необхідно затвердити, а також вихідні дані, які для цього необхідні.

Критерії прийнятного ризику повинні бути обґрунтовані і визначені з урахуванням вимог нормативних документів. Їх необхідно визначити на етапі планування процесу аналізу ризику або в процесі узагальнення результатів аналізу. Критерії прийнятного ризику слід визначати з урахуванням

множини умов експлуатації, які включають певні вимоги безпеки і кількісні дані про рівень небезпеки. Прийнятність ризику зазвичай виражається у вигляді умов виконання певних вимог до рівня безпеки, виражених в кількісних показниках.

Процес вибору і прийняття прийнятних критеріїв рівня ризику заснований на наступних даних:

- норми і правила, що регламентують рівень техногенної безпеки або інші документи, які стосуються управління ризиками в області проведення аналізу;

- дані про трапилися НС, катастрофах, аваріях, інциденти техногенного походження і потужності їх наслідків;

- досвід прийняття рішень щодо коригування техногенного ризику;

- економічна і соціальна вигода, одержувана в результаті експлуатації ОПН.

Аналіз можливих небезпечних техногенних ситуацій дозволяє розробляти заходи щодо запобігання виникаючим порушенням вимог промбезпеки, мета яких - значуще скорочення типових аварійних ситуацій і травм.

Ці заходи раціонально виконувати в наступній послідовності:

1. Виявлення найбільш небезпечних елементів СХТС і процесів, їх ранжування з урахуванням кількості аварійних ситуацій, тяжкості їх наслідків і поразки людей.

2. Виділення по ним повторних порушень правил промислової безпеки.

3. Визначення та ранжування обставин, які призводять до порушення правил і їх повторюваність.

4. Створення додаткових типових заходів (вимог), спрямованих на ліквідацію виявлених обставин, які є причиною порушень, для всіх рівнів персоналу підприємства.

5. Затвердження прийнятих заходів.

6. Виконання затверджених заходів (програм).

7. Проведення моніторингу та контролю за відповідністю та виконанням заходів.

8. Корекція прийнятих до виконання програм.

Для приведення рівня ризику несправностей елементів обладнання СХТС ($Ra_1 \dots 5$) до прийнятного обґрунтована і розроблена матриця напівкількісного аналізу (рисунок 4.9), в якій рівні ризику градуюються за рівнями ймовірності ($Va_1 \dots 5$) і тяжкості наслідків ($C_1 \dots 5$).

Об'єкти, представлені в схемі і становлять небезпеку для технологій, повинні входити в плани дій при надзвичайних ситуаціях, що дозволяють адекватно врахувати всі можливі сценарії аварій.

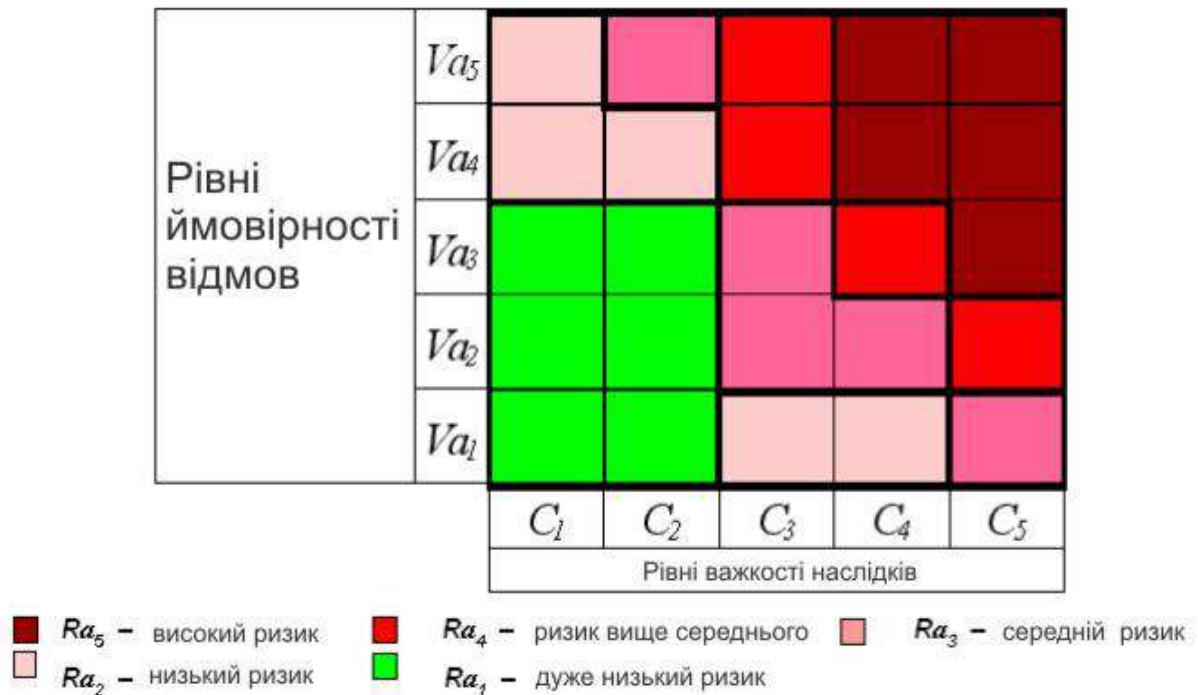


Рис. 4.9. Графічне представлення матриці напівкількісного ризику відмові елементів обладнання

Модель, що відображає комплекс методів моніторингу поточного стану та профілактики несправностей обладнання заснована на плануванні і виконанні обстежень на основі розрахунково-аналітичного забезпечення якості програм обстежень.

Визначення рівнів ризику необхідно проводити при:

- дослідженні рівня безпеки населення і навколишнього середовища в районах з великою кількістю небезпечних об'єктів;
- оцінці ступеня впливу на екологію новостворюваних і функціонуючих ОПН, а також при прогнозуванні і розробці планів економічного розвитку територій і областей;
- розробці планів і методів, а також контролі транспортування небезпечних речовин;
- розробці нормативних і регламентуючих документів, що визначають діяльність ОПН.

Небезпечні техногенні об'єкти підрозділяються і ранжуються на кілька видів залежно від масштабів і ступеня небезпеки наслідків аварії. Максимальну небезпеку становлять об'єкти, на яких можливий масштабний викид отруйних чи радіоактивних речовин. По відношенню до таких об'єктів оцінка рівня ризику передбачає:

- аналіз і визначення екологічних показників регіону;
- визначення рівня безпеки в регіоні для навколишнього середовища;
- ранжування джерел ризику з урахуванням можливості виникнення великих аварій;
- розробку планів заходів ліквідації аварій і обґрунтувань заходів зниження ризику.

Джерелами ризику найчастіше є:

- регламентні і позаштатні викиди підприємств і інших об'єктів небезпечних речовин в навколишнє середовище, забруднення водойм і ґрунту;
- аварії при перевезенні або транспортуванні небезпечних речовин та матеріалів;

- стихійні лиха (землетруси, торнадо, блискавки, затоплення і т. д.), які можуть призводити до нестійкої роботи і аварії на техногенних об'єктах;
- аграрна діяльність, із застосуванням токсичних інсектицидів, гербіцидів, в результаті якої можливе забруднення ґрунтових вод, вплив на біорізноманіття.

При кількісній оцінці ризику важливо враховувати властивості реципієнтів ризику (об'єктів турботи). реципієнтами є:

- персонал об'єктів підвищеної небезпеки;
- населення прилеглих територій в зоні дії небезпечних факторів;
- екологічні системи, в тому числі флора і фауна, що живе в зонах небезпеки;

Методи кількісної оцінки ризику необхідно застосовувати з урахуванням:

- характеристик джерел небезпеки, причин їх виникнення;
- утворення небезпечних умов і тривалості їх прояви;
- масштабів негативних впливів і різних факторів, що виявляються в результаті цих впливів.

В результаті проведених досліджень щодо надійності і безпеки роботи обладнання ОПН була поставлена і вирішена задача розробки моделі несправностей, прояви аварій при експлуатації обладнання СХТС, яка систематизована за критеріями ризику відмов.

Концепція самої моделі заснована на методах класифікації повної множини елементів обладнання небезпечного об'єкта за рівнями ризику відмови елементів і застосуванні диференційованих керуючих заходів, які відповідають поточному ризику. Застосовувалася корекція заходів з безпеки за результатами моніторингу поточного стану СХТС. Керуючі впливи плануються на системній основі шляхом використання методів:

- планування обсягів і періодичності контролю поточного стану елементів СХТС за ступенем виявлення пошкоджень;

- прогнозування залишкового ресурсу безпечної експлуатації обладнання з урахуванням потоку відмов його елементів і ступеня їх небезпеки.

Розроблено методи розробки технічних і технологічних рішень з урахуванням:

- політики безпеки організації, яка експлуатує обладнання ОПН, заснованої на вимогах і нормативних документах державних, галузевих і внутрішніх, які встановлюють ступінь відповідальності, рівень повноважень, критерії надійності, необхідність і формати планування і виконання ремонтних робіт, і інші норми і процедури, які необхідні для систематизації дій служб виробництва, спрямованих на підтримку прийнятного рівня безпеки та попередження НС;
- проведення моніторингу поточного стану та планування ремонтно-відновлювальних процедур обладнання, які основані на інформаційно-забезпеченні методів підтримки стану обладнання на рівні безпеки не менше ніж встановленому нормативно;
- вдосконалення політики безпеки і технологічної системи в результаті аналізу і модернізації діючих документів, нормативів і критеріїв; постійного підвищення підготовки персоналу; підготовки матеріально-технічних засобів і модифікації методів і засобів технічного обстеження стану елементів обладнання з урахуванням специфіки СХТС.

На рис. 4.10 представлена структурна схема сукупності методів управління промисловою безпекою, призначена для вдосконалення СУПБ.

Рівні тяжкості наслідків техногенних катастроф розподіляються за обґрунтованими критеріями, визначеними в результаті досліджень, в залежності від поточного стану обладнання, робочого середовища і виду можливих наслідків аварій. Результати аналізу деяких підприємств, з урахуванням вимог вітчизняних і міжнародних норм встановлені представлені на графіку (рис. 4.11) як показники граничних значень ймовірності аварій для всіх рівнів тяжкості їх наслідків.



Рис. 4.10. Структурна схема сукупності методів вдосконалення системи УПБ

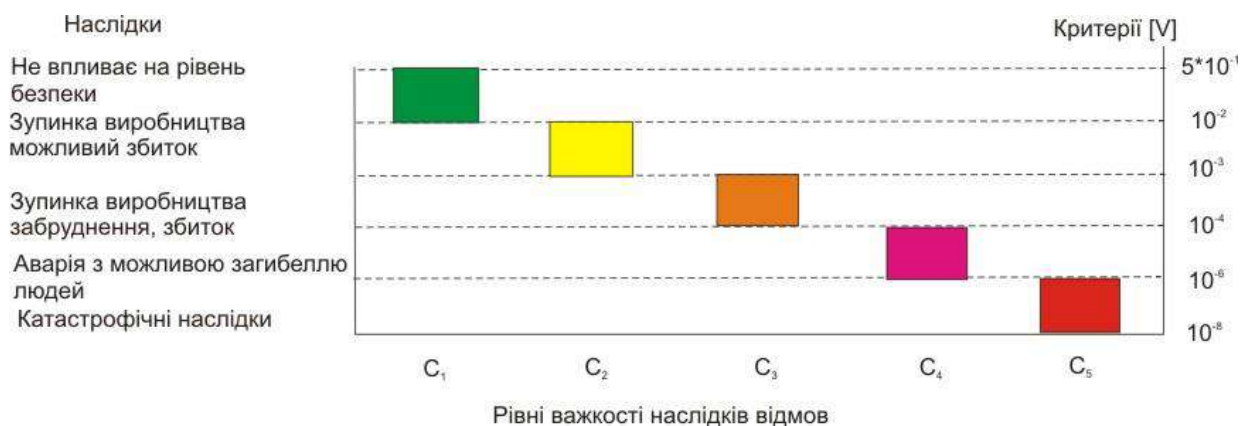


Рис. 4.11. Залежність нормованих рівнів тяжкості наслідків аварій і граничні значення їх ймовірності

Модель обґрунтування рівнів якості обстеження елементів обладнання показана на рис. 4.12.

Модель оцінки аналізу поточного стану і планування досліджень старіння обладнання з урахуванням критеріїв ризику несправностей передбачає планування в послідовності і графіку, які забезпечують зміни показників ризику в межах допустимого ризику.

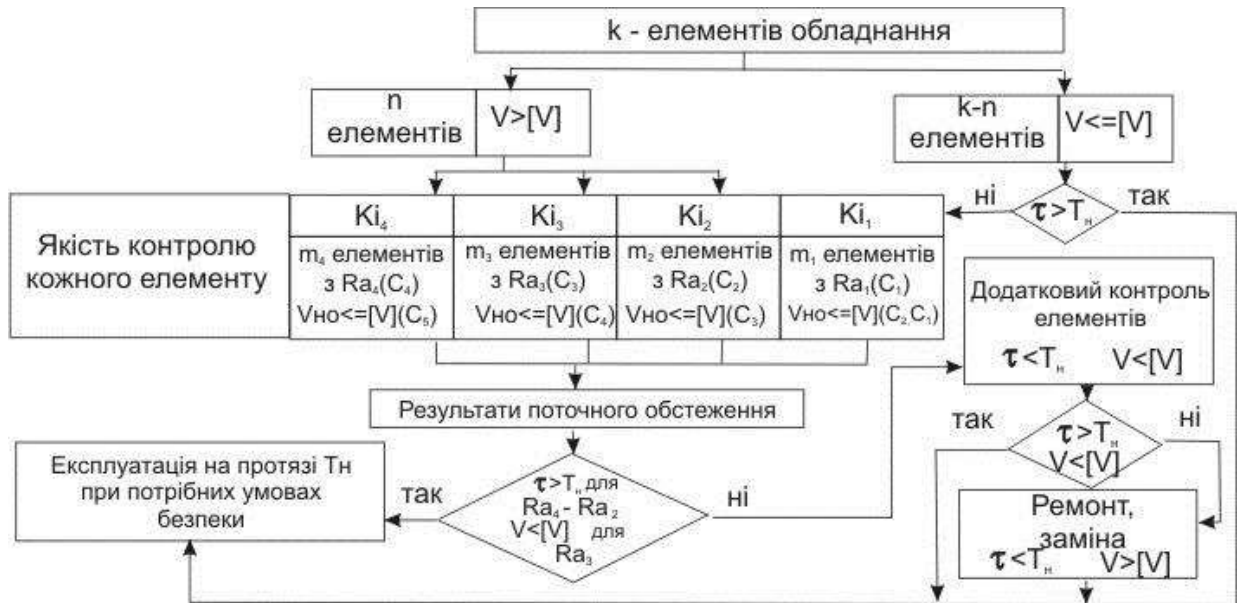


Рис. 4.12. Модель обґрунтування рівнів якості обстеження елементів обладнання

Так як великі аварії на виробництві - рідкісні події, то неможливо довіряти тільки статистичним даним по відмовах, що призводять до них. Кількісні показники інтенсивності відмов окремих елементів обладнання і ймовірності можливих аварій на виробництві обчислюються на підставі результатів обстеження стану елементів обладнання.

Планування досліджень стану обладнання і виявлення залишкового ресурсу (рис. 4.13), а також розробка заходів попередження несправностей для елементів обладнання, які відносяться до рівнів ризику Ra_1 - Ra_4 , виконується за результатами нормативних методів розрахунку залишкового ресурсу на підставі даних про ступінь зносу. Планування досліджень для елементів СХТС з рівнем ризику Ra_5 , а також з рівнем Ra_4 , виконується на підставі розрахунків граничного терміну експлуатації до досягнення значення ймовірності несправності граничної величини.

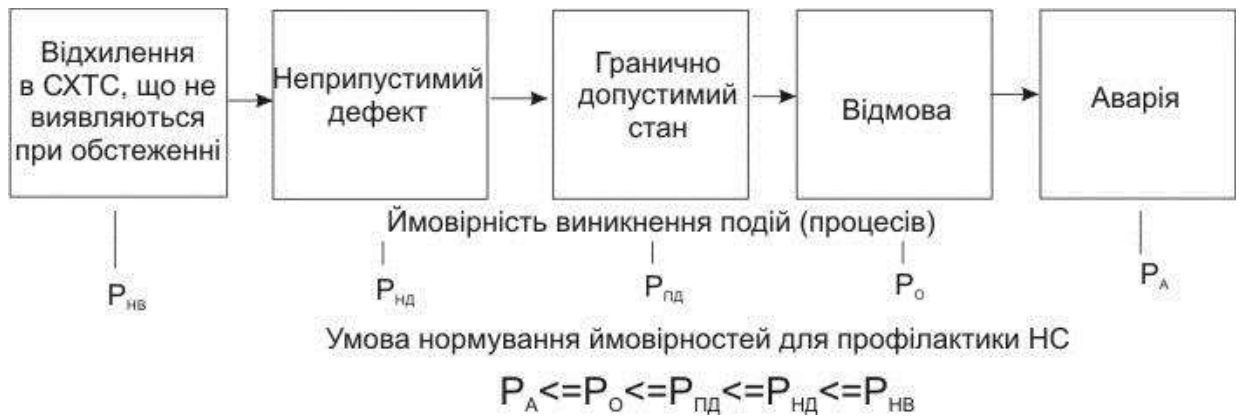


Рис. 4.13. Послідовність і умови нормування ймовірності аварій

Встановлено можливість приведення ймовірності невиявлення небезпечних відхилень нижче допустимих значень до допустимого рівня.

Обґрунтовано методи вибору критеріїв рівня якості методів обстеження для різних градацій ризику несправностей, при яких ймовірність невиявлення дефекту не перевищує граничного значення $V_{HO}(Ra_i(C_i)) \leq [V(C_i)]$, $k_i = 1 \dots 5$, де: $Ra_i(C_i)$ - рівні ризику несправностей, відповідні рівням тяжкості наслідків аварій, викликаних цими несправностями; $V_{HO}(Ra_i(C_i))$ - ймовірність не знаходження несправності з рівнем ризику відмови Ra_i з урахуванням рівня тяжкості наслідків C_i ; $[V(C_i)]$ - допустиме значення ймовірності несправності для обладнання, з урахуванням можливої відповідної тяжкості наслідків C_i .

При використанні перерахованих нижче критеріїв вибір методів обстежень спрощується:

а) ступінь складності досліджуваного об'єкта. Спрощення складності системи, виключення зворотних зв'язків або складних схем резервування дозволяє знизити вимоги до обстеження;

б) сучасність і новизна. Вперше розробляема система вимагає ретельного аналізу і проводиться більш складними методами, ніж раніше створена;

с) вибір якісного або кількісного методу. Важливо відповісти наскільки необхідний кількісний метод.

Для якісного та повного аналізу СХТС можливо, необхідно застосовувати кілька методів.

Висновки по розділу 4

1. У розділі представлені методи і технічні підходи до моделювання небезпечних аварійних процесів з метою отримання основних кількісних показників безпеки і ризику.

2. Описано методи отримання кількісних показників ризику для основних небезпечних фізичних процесів, що виникають при аваріях і становлять загрозу ураження людей і руйнування об'єктів життєдіяльності. Запропоновано методи моделювання і використання отриманих даних для: поширення небезпечних домішок в атмосфері; формування вибухонебезпечного середовища; ймовірності ураження людей в результаті інгаляційного впливу токсичної домішки; вибухів ПГФ, судини високого тиску, BLEVE, конденсованих ВВ; руйнування об'єктів різної міцності; ураження людей в результаті ударно-хвильової дії; пожежі протоки; вогненної кулі; факелів; ймовірності ураження людей в результаті теплового впливу; розльоту уламків; ймовірності ураження людей і пробиття обладнання уламками. Запропоновано методи підготовки і структуризації необхідних вхідних даних для моделювання небезпечних процесів. Описано методи визначення коефіцієнтів поразок людей і визначення стійкості об'єктів до ударно-хвильовому впливу.

3. Описано методи моделювання формування небезпечних середовищ і отримання вхідних характеристик розвитку аварійних процесів. Запропоновано вдосконалені моделі оцінки закінчення газової і рідкої фази з обладнання, випаровування перегрітої рідини і пароутворення з поверхні протоки в атмосферу, формування вибухонебезпечного середовища.

4. Описані методи подання інформації з використанням ГІС технологій з урахуванням просторово-часових характеристик аварійних процесів,

застосованих при розробці програмних засобів інформаційної технології підтримки прийняття рішень при коригуванні техногенного ризику.

5. Запропоновано методи і принципи визначення кількісних показників можливого і очікуваного збитку, що виникає при аваріях.

6. Описано методи аналізу показників ризику для обґрунтування прийнятих рішень, що дозволяють виділити простір носіїв ризику, множина об'єктів відповідальності і множина елементів СХТС, для яких необхідно прийнятий рішення щодо приведення ризику до прийнятного.

7. Запропоновано методи проведення SIL аналізу для вироблення вимог за рівнем надійності до програмованим, електронним і електричним засобам систем управління і перетворення інформації. При цьому використаний метод якнайшвидшого спуску до мінімально необхідного рівня безпеки засобів управління.

8. Описано методи оцінки експлуатаційної надійності елементів СХТС і RBI-аналізу з метою прийняття рішення щодо ремонтно-відновлювальних робіт та моніторингу поточного стану обладнання.

Описані в розділі матеріали були використані при розробці програмних засобів інформаційної технології, розробки методичних рекомендацій для різних досліджень і розробок (декларації промислової безпеки, планів ліквідації аварій, SIL-аналізу і розробці вимог до АСУТП, RBI-аналізу і планування РВР, передстрахової аудиту і підготовки до страхування ОПН, вирішення розбіжностей між учасниками ризику).

Матеріали розділу опубліковані в роботах автора [75, 76, 77, 81, 85, 86, 87, 88, 90, 91, 92, 94, 95, 99, 103]

РОЗДІЛ 5 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В ГАЛУЗІ ПРОМИСЛОВОЇ БЕЗПЕКИ

В розділі описані програмні засоби, розроблені в рамках реалізації інформаційної технології підтримки прийняття рішень при щодо техногенного ризику на основі методів ризико-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. Описано можливості бази даних щодо надійності і інших додатків програмного комплексу.

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.

Узагальнені і представлені методи організації моніторингу техногенного ризику на об'єктовому і державному рівнях. Запропонована структура державного рівня впливу на ризик на основі ризико-орієнтованого підходу.

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

Представлений комплекс програмних засобів і описані методи пройшли процедури впровадження і апробацію в різноманітних підприємствах та організаціях України та Німеччини, що підтверджується актами, наведеними в додатках

5.1 Програмні засоби інформаційної технології підтримки прийняття рішень з досягнення прийняттого ризику

Реалізація інформаційної технології в рамках сукупності методів оцінки і управління техногенним ризиком можлива завдяки розробці програмно-апаратного комплексу, що дозволяє автоматизувати процеси оцінки ризику, розрахунків рівнів небезпеки і наслідків аварій, пошуку оптимальних рішень і засобів моніторингу поточного ризику.

Розробка програмних засобів системи підтримки рішення і оцінки техногенного ризику проводилася в Німеччині за участю співробітників спеціалізованої консалтингової фірми Savarex GmbH і колективом програмістів при постановці завдання і керівництві розробкою автором дисертації (див. Акт впровадження Додаток 3).

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'язні взаємозалежні дані і моделі в формалізоване спрямоване дослідження ризику. При цьому вкладеність модулів визначає спрямованість обчислень завдяки деревовидної ієрархічної структури, що відображає причинно-наслідкові процеси, характерні для досліджуваного ОПН. Схема модульної обробки даних представлена на рис. 5.1.

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.

У структуру єдиного «проекту» можна вносити будь-яку кількість незалежних моделей ОПН, що входять в досліджувану область об'єктів турботи. При цьому синтез імітаційно-подієвих моделей виконується автоматично відповідно до структурованих записів, що створюються за допомогою засобів управління програмним комплексом.

Засоби управління геоінформаційними даними дозволяють вводити картографічні дані і створювати векторні об'єкти з їх властивостями, що можуть бути необхідні в дослідженні ризику.

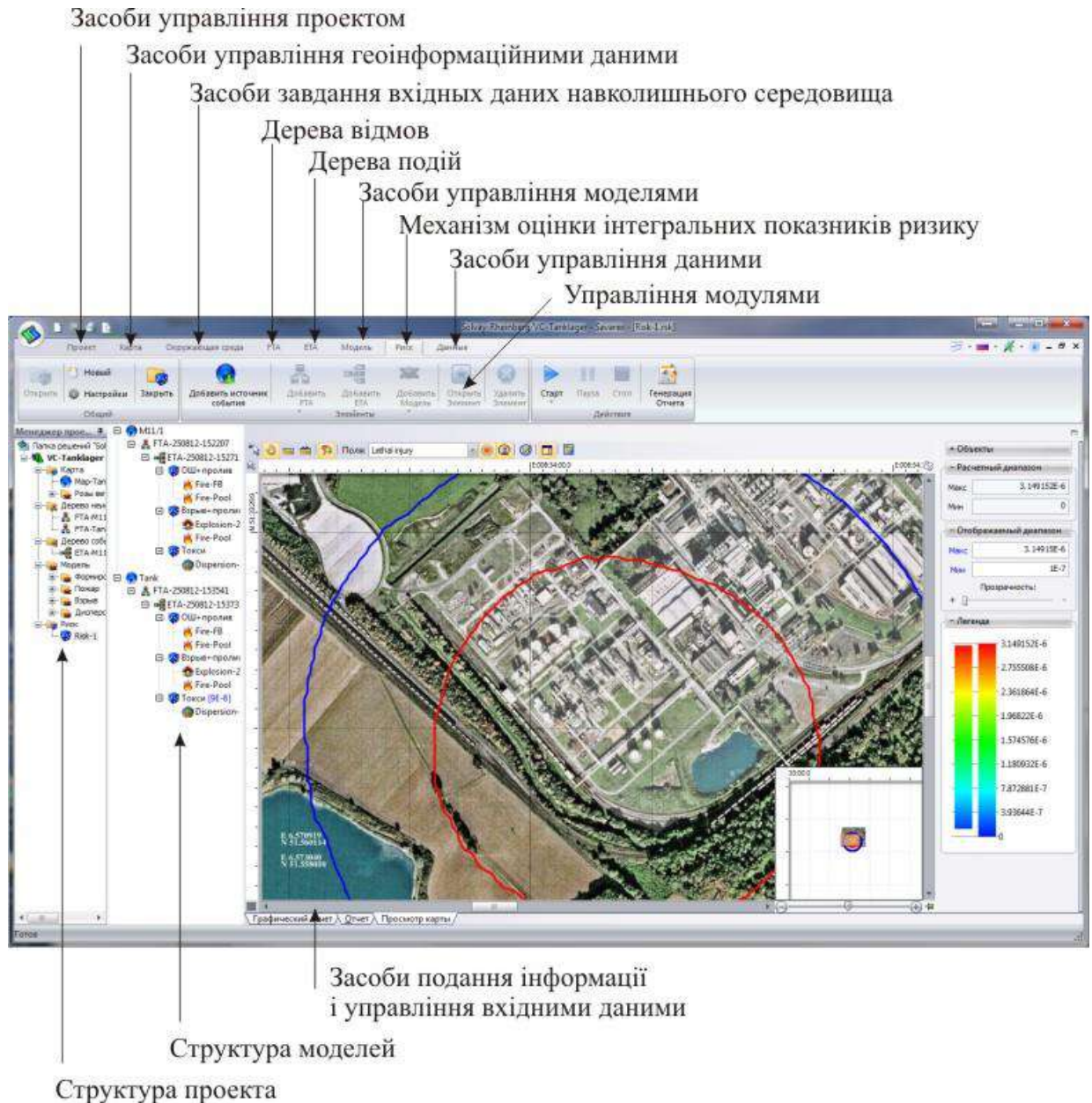


Рис. 5.1. Структурна схема модульної обробки даних «проекту»

Засоби введення даних навколишнього середовища дозволяють ввести «розу вітрів» та інші дані, що характеризують кліматичні умови, характерні для даної місцевості.

Засоби управління «деревами відмов» і «деревами подій» дозволяють інтерактивне створення, редагування, пов'язування і управління множиною причинно-наслідкових зв'язків процесів ОПН, виявлених в процесі проведення аналізу HAZOP і подальшого дослідження наслідків аварій. За допомогою цих коштів створюється база знань «проекту» і структуруються дані для проведення розрахунків і аналізу ризику для пошуку оптимальних рішень щодо приведення ризику до прийняттого.

Засоби управління моделями дозволяють вибирати модулі зі списку включених до складу моделей проекту та синтезувати математичні моделі складних процесів, описаних в даних модулях, підключати нові модулі шляхом використання динамічних бібліотек і створення і сполучення даних вводу-виводу модулів, представлених xml - структурах розширюваної 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 розширення можливостей моделювання.

Оцінка інтегральних показників і подання даних для визначення ризику забезпечена в модулі «Ризик». Засоби модуля дозволяють редагувати структуру процесів ризику, виділяти області перевищення ризику і переліки аварійних ситуацій, що призводять до нього, 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 базами даних дозволяють підключати бази даних як програмного комплексу, так і зовнішні, вибирати дані з полів баз, здійснювати пошук, редагування, управління даними. База даних системи відкрита для користувачів, містить всі необхідні для розрахунків дані. База може бути легко редагована і поповнена. Якщо користувачеві необхідно використовувати відомі йому параметри досліджуваної речовини або інші дані, то безпосередньо при моделюванні все вхідні дані можуть бути внесені

зміни вручну. Реляційні бази даних, що підключаються, представлені поширеними форматами типу mdb або даних SQL.

Наприклад, при створенні «проекту» для обраного ОПН синтез імітаційно-подієвої моделі здійснюється шляхом заповнення відповідних позицій «засобів управління проекту» (рис. 5.2):

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. Приклад ланцюга зв'язкових подій наведено на рис. 5.2.

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 небезпеки і працездатності СХТС.

На рис. 5.3 представлений зовнішній вид інтерактивних засобів управління об'єктними графічними даними.



Рис. 5.2 Приклад сполучення моделей при синтезі імітаційно-подієвої моделі

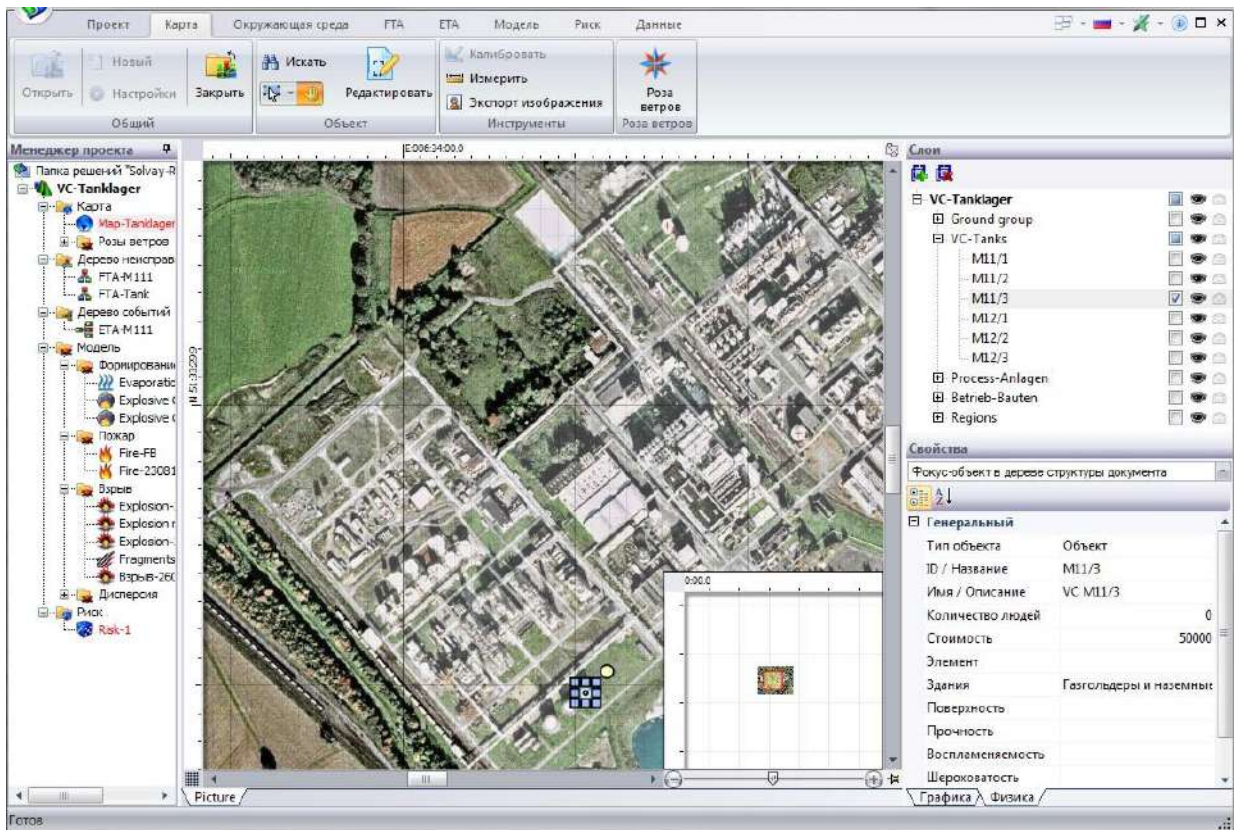


Рис. 5.3 Приклад засобів управління графічними даними «проекту»

В програмний комплекс входить база даних надійності елементів ОПН з інтерактивними засобами управління. У процесі моніторингу ризику, окремого дослідження рівня експлуатаційної надійності обладнання і вивченні технічної літератури збирається і обробляється інформація відповідно методів, описаних в п. 2.2.3. Обробка статистичних даних обладнання на відмову дозволяє отримати характерні показники надійності обладнання протягом зазначеного періоду експлуатації [98]. На рис. 5.4 показано вікно користувача додатку запитів до бази даних за надійністю і поля всіх основних її структурних елементів і обчислюваних елементів.

Показатели надежности по литературным источникам : [365]

Тип	Подраздел	Тср	Лср	Тсн	Рн	Qn	Название источника
колоньно-разрушение	Колонны рефракции	162657	6.00E-6		0.9531	0.0469	А.А. Алексеев и др. "Методологические аспекты управ...
теплообменные аппараты	Теплообменное оборуд	103000	1.00E-5		0.9231	0.0769	А.А. Алексеев и др. "Методологические аспекты управ...
УБ-4	Насосы	21	4.88E-2		0.0000	1.0000	С.Г.Бабоев, Ю.А.Васильев "Повышение надежности обоб...

Таб.ср. = 3300516 Льв.ср. = 4.14E-004 Бьв.ср. = 9.64E-001 8000 [?] Выб. среднее
24 [?] 8000 [?] С. резервом

Показатели надежности по эксплуатационным данным : [355]

Тип	Подраздел	Предприятие	Установка	Тсрп	Нотп	Лс	Лср	Ln	Рс	Рср	Рсн	Qс	Qср	Qсн
НС300/120	Насосы	Омский НПЗ	Гидроцистка Л-24-7	84067	27	3.49E-4	3.21E-4	2.41E-4	0.4935	0.5261	0.0170	0.5025	0.4739	0.3830
НПС 200-700-16-С0П	Насосы	Омский НПЗ	Гидроцистка Л-24-7	165397	50	4.17E-4	3.51E-4	2.90E-4	0.4339	0.4363	0.5631	0.5661	0.5041	0.4359
АНР-5к1	Насосы	Омский НПЗ	Гидроцистка Л-24-7	70308	17	3.27E-4	2.42E-4	1.66E-4	0.0732	0.1445	0.2698	0.3068	0.8555	0.7342
У-800-4-260	Компрессоры	Омский НПЗ	Гидроцистка Л-24-7	119035	13	1.98E-4	1.09E-4	7.28E-5	0.2870	0.4174	0.5595	0.7130	0.5825	0.4415

Таб.ср. = 1338 Льв.ср. = 7.47E-004 Бьв.ср. = 9.97E-001 8000 [?] Выб. среднее
24 [?] 8000 [?] С. резервом

Рис. 5.4. Пример представления информации в базе данных по надежности

Устаткування і елементи СХТС в базі представлені в таблицях для різних видів і типів устаткування, різних підприємств і джерел інформації. У базу для окремих одиниць обладнання вноситься середній час напрацювання на відмову T_{cp} (T_a), або отримана в результаті обробки інформації середня інтенсивність відмов L_{cp} (λ_a). За цими параметрами обчислюються ймовірності відмов і безвідмовної роботи протягом заданого часу експлуатації або усереднені ймовірності для всього переліку обладнання даного типу. Можливо також обчислення показників надійності з урахуванням резерву обладнання протягом часу виконання відновлювальних робіт. Таким чином,

дослідники можуть використовувати в «деревах відмов» і «деревах подій» експериментальні дані надійності аналогів обладнання певного типу.

Приклади роботи окремих моделей програмного комплексу і засобів інтеграції даних «проекту» представлені в додатку Ж.

Структура обміну даними між користувачами інформаційною технологією і засобами оцінки техногенного ризику представлена на рис. 5.5.

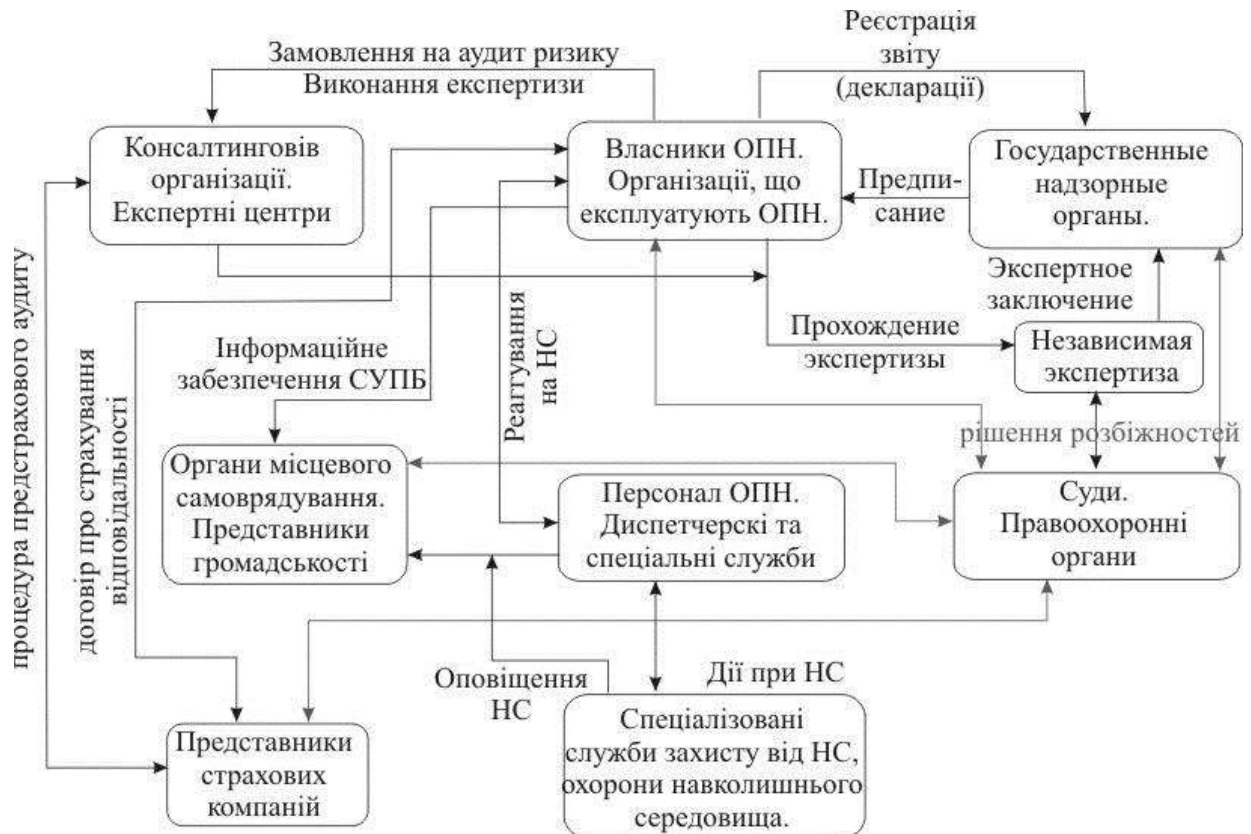


Рис. 5.5. Структура інформаційного обміну між користувачами інформаційною технологією оцінки ризику

Всі користувачі забезпечені доступом до інформації, відповідної їх компетенції.

Модулі, бази даних (за надійність, небезпечних властивостей речовин), засоби представлення інформації програмного комплексу дають можливість в повній мірі реалізувати інформаційне забезпечення оцінки техногенного ризику шляхом здійснення роботи потоків даних і обчислень в інформаційній технології управління рівнем безпеки ОПН (див. рис 2.3). Про-

грамні засоби комплексу, оброблювані ними дані і генеровані звіти повністю доступні для користувачів інформаційною технологією (див. рис. 5.5). За допомогою програмного комплексу реалізується розрахунки в інформаційній моделі технології оцінки ризику (див. рис 2.3) що в повному обсязі відповідають вимогам директиви Seveso III (див. рис. 2.6) для класу об'єктів промисловості (хімії, нафтохімії, енергетичного сектора, транспортування небезпечних вантажів), для яких характерні такі небезпечні явища як вибухи, розповсюдження токсичних речовин, пожежі. Базова комплектація моделей не містить засоби визначення радіаційної безпеки, але при необхідності, може бути доповнена окремо розробленими модулями типу plug in. Розроблені проекти оцінки ризику ОПН можуть бути використані для інформаційного процесу моніторингу ризику в структурі СУПБ (див. рис. 2.8), а також створити і обробляти інформаційно-подієву модель підтримки прийняття рішень щодо доведення ризику до прийняттого рівня (див. рис. 2.9).

У базовій версії програмного комплексу включені основні моделі фізичних процесів, характерних для аварій хімічної, енергетичної галузі та засобів транспортування небезпечних вантажів (див. рис. 3.4 і матеріал розділу 4.1). Передбачені відкриті структури для підключення моделей, характерних для радіаційної безпеки, зараження ґрунтів і вод, аварій на гідротехнічних спорудах та ін.

Програмний комплекс реалізований як desktop-додаток з можливістю інсталяції на персональні комп'ютери користувачів та обміну даними і включення звітів в систему електронного документообігу через локальну мережу. При цьому для деяких моделей класу CFD передбачена можливість реалізації розподілених розрахунків з використанням технології клієнт-сервер. Деякі дані і звіти виконані в стандартних форматах подання інформації в Internet.

Для реалізації можливостей загального доступу учасників ризику і реалізації методів приведення техногенного ризику до прийняттого на об'єк-

тових та державному рівнях реалізовані засоби web-додатків «Ovridia». На рис. 5.6 представлені деякі можливості сайту <http://www.ovridia.com/>.

The screenshot displays the Ovridia website interface for the 'Seveso III - First Check' tool. The website header includes the Ovridia logo and navigation links: Solutions, Products, Online-Tools, Downloads, and About Us. The main content area features a navigation menu with options like 'Projects & Design', 'Manufacturing & Control', 'Finances & Economy', 'Public Sector & Environment', and 'Government & Regulations'. Below the menu, there is a section titled 'Ovridia S-Check' with a sub-menu containing 'Ovridia S-Check', 'Ovridia Studio >>', 'Projects', 'Safety Analysis - FTA & ETA', 'Methods', 'Risk Assessment', and 'Reports'. The main content area is titled 'Seveso III - First Check' and includes a 'REPORT' button, a 'RESET' button, and a 'FEEDBACK' button. The interface also displays a table for 'Seveso III Classification - Free check for self-testing' with columns for 'EU-DIRECTIVES AND REGULATIONS', 'Seveso III Directive 2012/18/EU CLP (GHS) Regulation 1272/2008', 'Hazard categories and dangerous substances Name and CAS-Nr.', 'Amounts in Tunnies', and 'Establishment tier lower upper'. The table lists hazard categories such as 'HEALTH HAZARDS', 'ACUTE TOXIC', 'PHYSICAL HAZARDS', 'ENVIRONMENTAL HAZARDS', 'OTHER HAZARDS', 'NAMED DANGEROUS SUBSTANCES', and 'OTHER CLP SUBSTANCES'. The interface also shows a 'Your establishment tier' section with 'Lower' and 'Upper' indicators, both set to 0,0%.

Рис. 5.6. Web - додаток засобів оцінки техногенного ризику

Web-додаток дозволяє будь-яким учасникам техногенного ризику виконати наступні функції:

- провести контрольну оцінку відповідності ОПН вимогам директиви Seveso III і, при необхідності провести первинну реєстрацію об'єкта;
- включити в властивості об'єкта необхідні вимоги стандартів, нормативних документів, дані, необхідні для реалізації СУПБ;

- зареєструвати проект дослідження і оцінки ризику в компетентних наглядових органах і передати в їх бази звіт про промислову безпеку, обґрунтування безпеки ОПН та інші документи, необхідні чинним законодавством;

- розміщувати дані про політику безпеки ОПН, доступні для громадськості і здійснювати зв'язок зі спеціалізованими організаціями ліквідації наслідків аварій;

- виконувати вимоги законодавства країни до інформаційного забезпечення в галузі промислової безпеки.

В результаті використання геоінформаційних технологій, користувачам комплексу надана можливість самостійно формувати дані в просторі розташування об'єктів турботи і забезпечити моніторинг динамічних процесів, що впливають на зміну показників ризику регіону.

У додатку Ж представлені можливості і властивості програмного комплексу Savarex і його web реалізації Ovridia.

5.2 Програмно-апаратні засоби інформаційної технології підтримки безпеки переміщення небезпечних вантажів

Приклад роботи програмних засобів *системи підтримки безпеки переміщення небезпечних вантажів* (СПБПНВ) представлена на рис.5.7.

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), небезпечно (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;

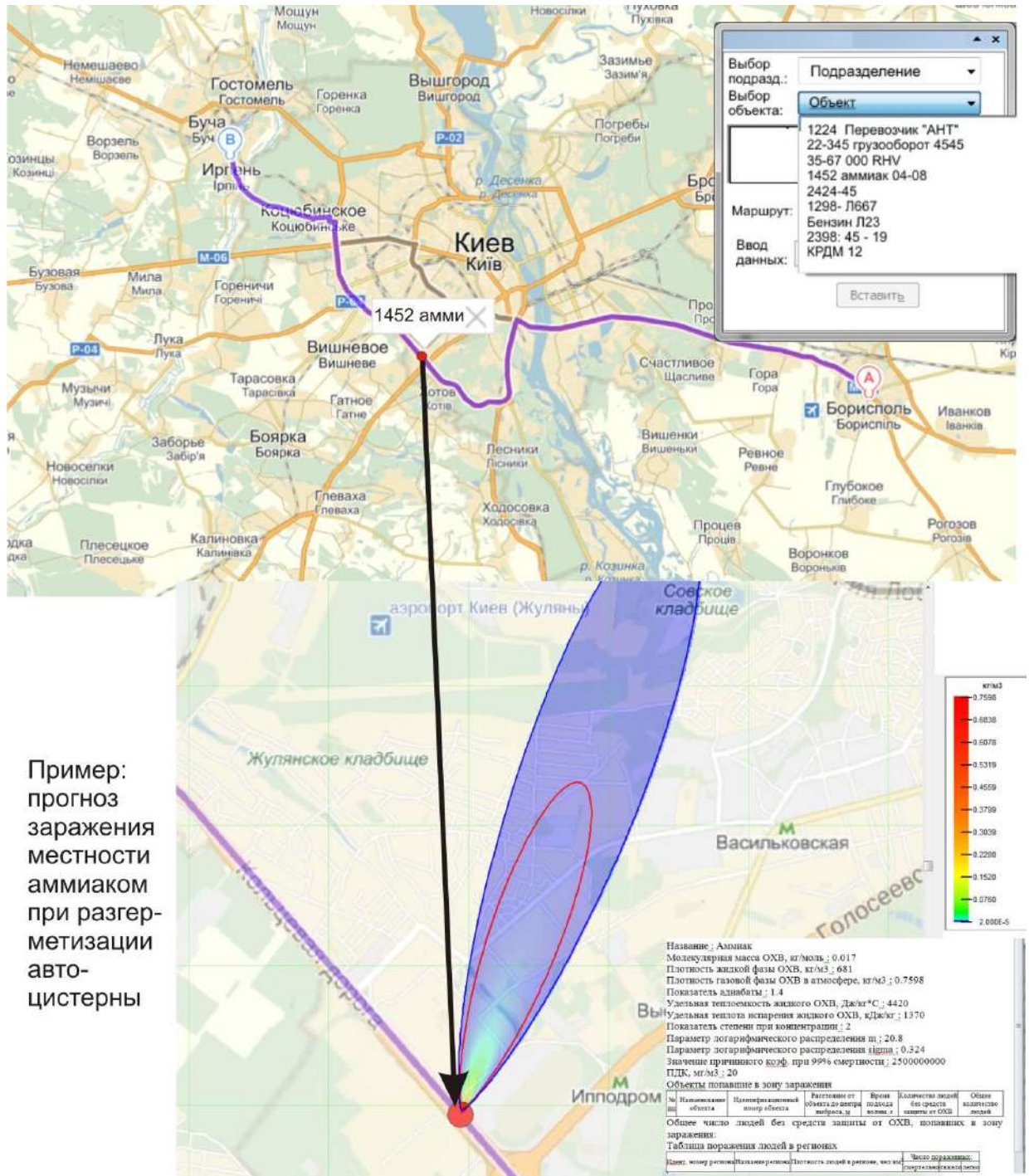


Рис. 5.7. Приклад роботи додатків СПБПНВ

- кожному об'єкту переміщення небезпечних вантажів розробляється набір моделей аварійних процесів, характерних для експлуатаційних показників об'єкта. Виїзд засобів транспортування, робота лінійних ділянок і т. д. заборонена без супровідного коду, що відображає наявність такого набору. Кожній можливої градуйованої аварійної ситуації відповідає свій код;

- 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 Savarex 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).

Використання програмних засобів СПБПОГ дозволяє оперативне реагування на загрозу і виникнення аварій, що представляють значну загрозу. Дозволяє отримувати інформацію про: місці 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 СПБПОГ представлена на рис. 5.8.

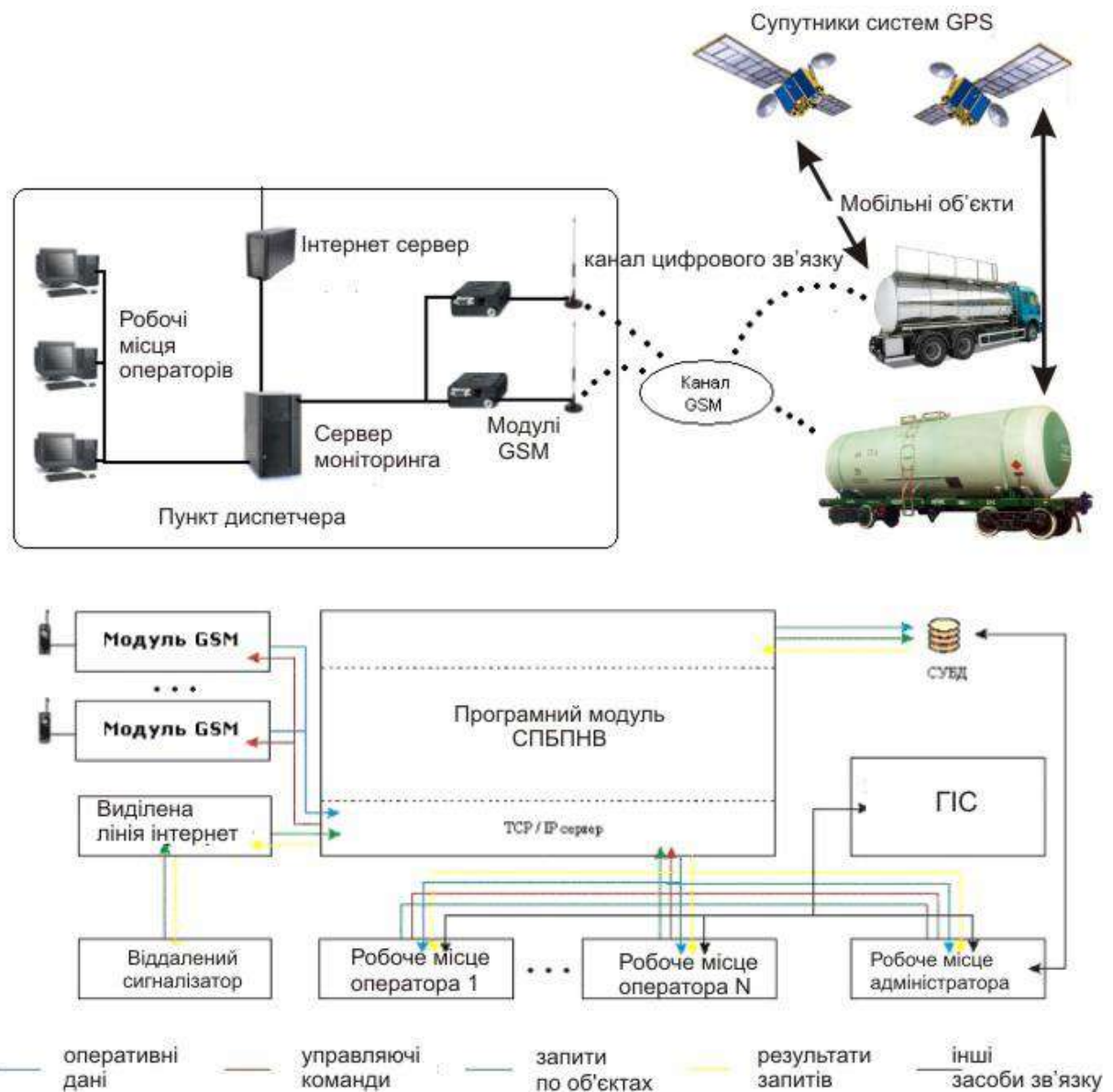


Рис. 5.8. Структура програмних і апаратних засобів СРБПНВ

Тестові випробування роботи сполучених систем СРБПНВ і засобів моделювання Savarex показали, що отримання всіх даних диспетчером і службами НС не перевищує 1 - 2.5 хвилин з моменту спрацьовування системи при аварії.

Отриманий прогноз розвитку аварії негайно розповсюджується всім задіяним в її ліквідації службам та дозволяє сформувати автосповіщення тих людей, що розміщуються в зоні впливу небезпечних факторів аварії.

5.3 Методи використання інформаційної технології оцінки техногенного ризику на об'єктовому і державному рівнях.

Сучасні методи державного управління безпекою повинні бути засновані на превентивних технологіях ризик-орієнтованого підходу (РОП) [12, 212]. На жаль, ці досягнення приживаються дуже повільно, незважаючи на те, що збитки від надзвичайних ситуацій (НС) і пожеж зростають, і витрати на утримання апарату та структур МНС теж ростуть. Впровадження нових методів неминуче призведе до скорочення: витрат бюджету, можливості розподілу дуже великих засобів чиновниками, тотального нагляду і контролю, втрати контролюючої (дохідної) функції взагалі і скорочення штатів держструктур ГО НС.

Сучасна структура суб'єктів цивільного захисту (ЦО), збудована не на ринкових принципах господарювання (див. рис. 5.9). Очевидно, що головне завдання держави і всіх держструктур - інспекції та перевірки небезпечних підприємств. В даному проекті кодексу функція "запобігання" прописується як "моніторинг і контроль" "стану об'єкта". Це очевидний недолік.

Маємо: всі об'єкти управління безпекою утримуються за бюджетні кошти, що не відповідає принципам ринкового управління та існуючим міжнародним стандартам, а саме: 1) по власності - за безпеку повинна відповідати власник, і 2) за сукупністю методів - головними повинні стати методи запобігання небезпек. Все повинно виконуватися за рахунок власника на добровільній основі, так як за всі можливі небезпечні наслідки він повинен відповідати власними коштами - це перше і головне. По-друге, всім добре відомо, що методи "запобігання" дешевше методів "ліквідації" в десятки разів. Структура суб'єктів ГО має бути збудовано за принципом міжнародних стандартів якості, відповідно до функцій управління безпекою. Механізм корекції техногенного ризику передбачає два основних підходи: 1) прогнозування і попередження на основі РОП; 2) швидке реагування при аваріях.

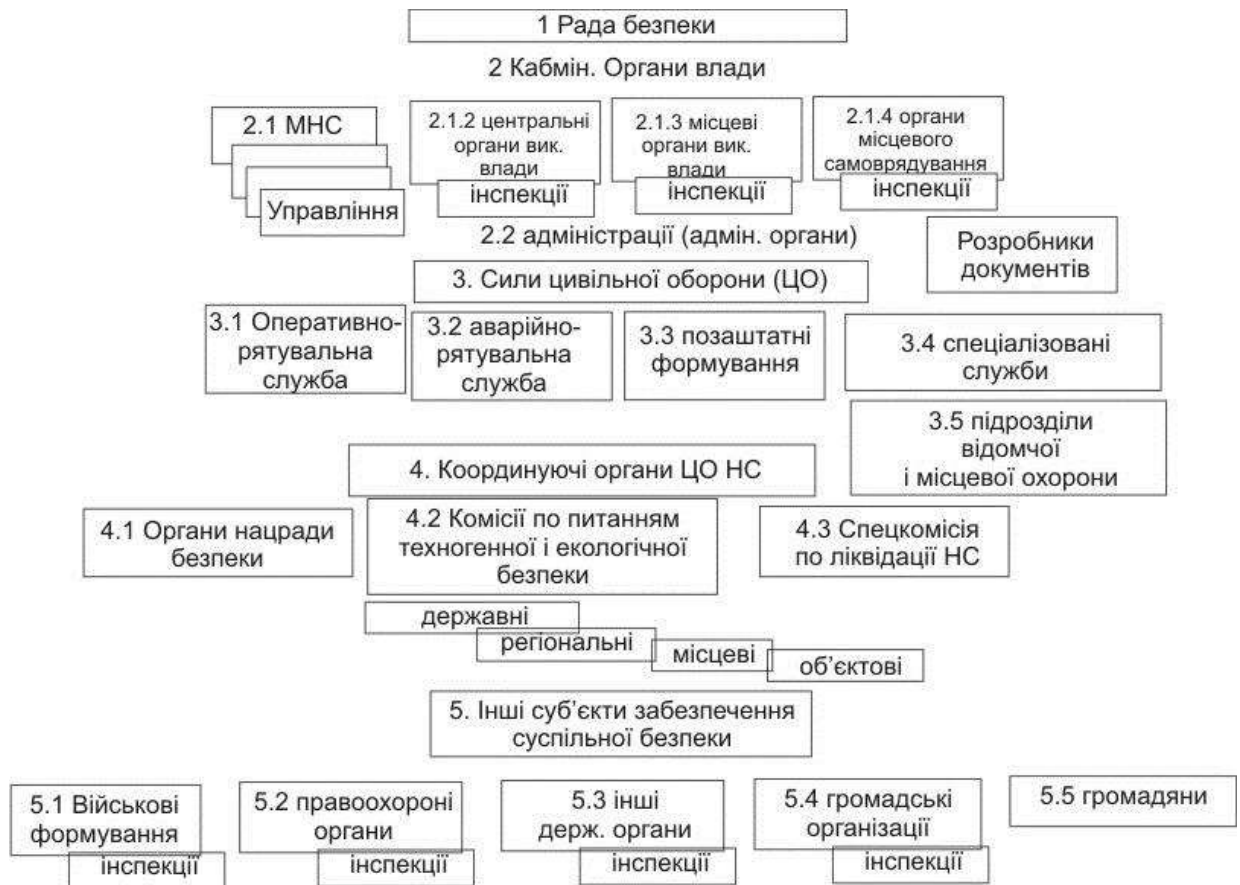


Рис. 5.9. Структура об'єктів ГО НС (стаття 7 кодексу ГО)

Функції регулювання ризику (небезпеки) залежать від рівня управління: рівень держави, регіону, міста, об'єкта. Повинні бути наступні функції управління безпекою в ринкових умовах на рівні держави: законодавча і нормотворча функція безпеки населення; визначення ризику для населення і навколишнього середовища; контроль рівня безпеки; розробка і виконання національних програм зниження ризику для населення; ліквідація аварій і НС державного рівня.

Види діяльності по управлінню безпекою на рівні держави: менеджмент ризику, інформаційна підтримка ризик менеджменту; контроль (аудит) безпеки підприємств і міст; нормативна і законодавча підтримка; ліквідація аварій і НС державного рівня.

Пропонується наступна структура (підрозділи) на Державному рівні [104]: підрозділ з аналізу та запобігання ризиків; підрозділи з аварійного ре-

агування та ліквідації наслідків аварій; страховий фонд; реєстр небезпечних об'єктів; галузеві БД надійності обладнання; центри розрахунків і експертиз; рада з ліцензування експертів. Мінімально можлива структура регулювання рівня ризику представлена на рис. 5.10.

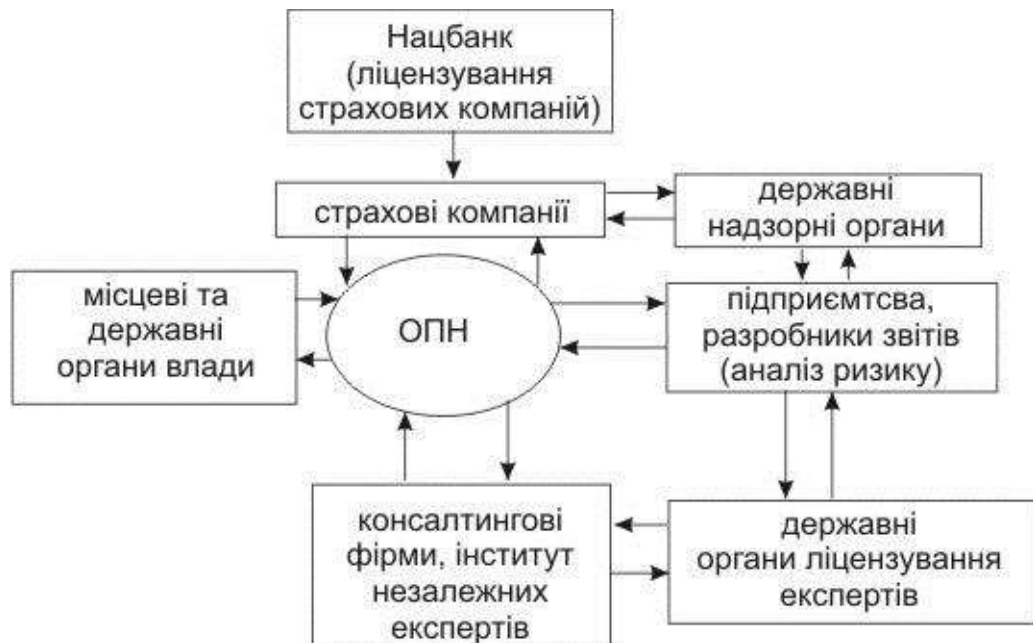


Рис. 5.10. Структура державного регулювання рівня техногенного ризику

Така структура в тій або подібній формі існує в усіх розвинених країнах. Вплив держави може бути мінімальним. Якщо власник несе повну відповідальність за роботу свого виробництва перед третіми особами, він зацікавлений в мінімальному ризику аварій і мінімальних можливих збитках.

Цілком очевидно, що при належному рівні підготовки об'єкта і внутрішнього моніторингу [104], наслідки аварійних процесів можуть бути істотно знижені, а в багатьох випадках попереджені. Тобто рівень безпеки визначає ступінь усвідомлення, передбачення, і безперервної готовності до реагування. Наведемо більш докладний опис цієї структури.

Відносини між учасниками регулюються законодавством і нормативними документами передбачають:

- ідентифікацію об'єктів підвищеної небезпеки (ОПН) [171];

- розробку декларацій, планів ліквідації аварійних ситуацій (ПЛАС), актуарні розрахунки, обов'язкове страхування відповідальності та їх періодичність.

Всю перераховану інформацію надає для реєстрації в державних органах нагляду власник ОПН і несе за це відповідальність. Погодження та затвердження документів відомствами відмінена, в функції чиновника залишається тільки реєстрація наданих документів. Обов'язкове страхування відповідальності контролюється державними наглядовими органами. Розробка декларацій, ПЛАС, страхування, експертиза проводиться недержавними організаціями (консалтинговими компаніями або власником з можливістю залучення нею будь-яких юридичних та фізичних осіб) за рахунок власника ОПН.

Методи і методики розрахунків не нормуються, можуть бути будь-якими, але звітні документи і їх структура повинні бути визначені нормативними документами. Завдання власника ОПН - довести суспільству, що на об'єкті досягнуто прийнятний рівень безпеки, і страхування залишкового ризику.

Експертиза декларації ПЛАС виконується також незалежними експертами, організаціями або фізичними особами, які отримали державну ліцензію на проведення експертиз промбезпеки. Ліцензування проводиться державною службою (НС або іншим) Для цього створюється спеціальна рада та процедура, що дозволяє проводити навчання, атестацію і ліцензування фахівців. Експерт, який отримав посвідчення, несе особисту відповідальність за якість експертизи та кримінальної відповідальності в разі доведення його недобросовісності або некомпетентності за фактом негативних подій або перевірки. Посадову відповідальність несуть також чиновники державного органу ліцензування в разі доведення видачі ліцензії по непередбачуваним правовими актами процедурі. Декларуються техногенні, пожежні та екологічні ризики.

Нормативно-правові акти та вимоги до цих документів, пов'язані з моніторингом ризику, необхідно змінити і доповнити, в першу чергу: актуарні розрахунки, обов'язки страхування третіх осіб, власних працівників, наповнення страхового фонду НС наповнюються власником ОПН (частково може оплачувати ці процедури страхова компанія) на основі поточних показників ризику об'єкта. Якщо в результаті актуарних розрахунків виявиться, що страхування і перестраховання (insurance, reinsurance) неможливі, то функціонування ОПН неприпустимо! У будь-якому випадку, як страхова компанія, так і власник повинні нести відповідальність усіма своїми активами для покриття збитків, пов'язаних з техногенними аваріями і катастрофами. У разі, коли цих актив досить, держава повинна покрити остаточний збиток, заподіяний третім особам. Важливе завдання державних органів – не нести матеріальну відповідальність за дії недержавних компаній і структур і одночасно забезпечити повне покриття з третім особам і покарання винним в недбалості.

5.4 Організаційні та економічні методи регулювання рівня техногенного ризику

Для регулювання рівня техногенного ризику необхідно виокремити учасників потенційно небезпечних процесів і їх зацікавленість. Перш за все це власники чи керівники об'єктів підвищеної небезпеки. Вони зацікавлені у виробництві продукту в першу чергу і отриманні максимально можливого прибутку з можливим збереженням власності і засобів виробництва. Так як безпечне ведення технологічних процесів вимагає витрат і зменшення прибутку, то з точки зору безпеки в цій цілі закладено прихований конфлікт. Іншими учасниками процесу виробництва є треті особи (громадяни і організації, що не належать ні до виробника, ні до державних органів, але потрапляють в часі і в просторі під потенційну дію уражаючих і руйнівних чинників потенційно небезпечних процесів) і представники місцевих громад. Ін-

терес третіх осіб перш за все в тому, щоб не потрапити під дію негативних техногенних аварій. Але вони також прямо або побічно можуть бути зацікавлені у виробництві як джерело робочих місць і податків. Конфлікт з виробниками закладений в різниці ступеня інтересів. Третім учасником є представники влади, держави, політики. Їх завдання - регулювати описані процеси, виступаючи одночасно «третейським суддею» при прийнятті рішень і врегулювання конфліктів.

При цьому важливо відзначити, що бездіяльність або неналежні дії політиків і державних чиновників в чюю компетенцію входить регуляторна функція рівносильно злочину проти власних громадян, так як бездіяльність або неналежні дії, що сприяло виникненню техногенних катастроф з тяжкими наслідками рівносильно, наприклад, бездіяльності лікаря під час рятування життя пацієнту або бездіяльності рятувальників при пожежі і т. д.

Вимоги щодо регуляторної функції держави щодо забезпечення техногенної безпеки полягають в наступному:

1. Неможливо виключити небезпеку, якщо її реалізація фізично можлива. Тому регулювання техногенного ризику полягає в його попередженні до рівня прийняттого.

2. Держава і треті особи не повинні нести відповідальність і покривати збитки джерел ризику. Це прямий обов'язок носіїв ризику (власників або експлуататорів техногенних об'єктів підвищеної небезпеки) в повному обсязі.

3. Носії ризику не повинні відчувати регуляторного навантаження з боку держави, що перевищує їх можливості по отриманню прибутку в разі, якщо їх техногенний ризик не перевищує прийняттого.

Обов'язок держави: створити умови (правову і нормативну базу і процедуру її контролю і виконання), при яких Носії ризику мали можливість використовувати технологію з прийнятним рівнем ризику, Треті особи були повністю сповіщені про рівень власного ризику і заходи щодо його страху-

вання і покриття і всі конфлікти всіх трьох учасників були гармонізовані і вирішені.

Для вирішення цих завдань потрібно виконати наступне:

- Модернізувати правову і нормативну базу таким чином, щоб вона: в повній мірі задовольняла загальноєвропейському законодавству; мала несутеречливу зв'язну структуру законів прямої дії (в яких точно визначені всі процедури без посилання на інші закони або підзаконні акти і які можуть застосовуватися безпосередньо і розглядатися в суді); була підкріплена керованими документами, методами оцінки ризику; могла використовуватися в замкнутому циклі усіма учасниками процесу.

- Забезпечити наявність процедур та інституту незалежних експертів, які могли б: реалізувати процес достовірної оцінки ризику, виключення корупції або прихованого процесу прийняття рішень; привести рівень техногенного ризику до прийняттого.

- Забезпечити прозорість прийняття прийнятних рішень.

При цьому необхідно дотриматися таких процедур:

- Носій ризику зобов'язаний подати до державного органу реєстрації та регулювання ризику Декларацію (Звіт) промислової безпеки. У цій декларації він зобов'язаний подати інформацію про ризик об'єкта підвищеної небезпеки (склад і структура Декларації повинна бути регламентована в керованих документах, що підтримують Закон про об'єкти підвищеної небезпеки). Декларація повинна пройти експертизу в незалежному експертному органі (недержавному і не перебуває у відносинах в тими, хто розробив і подав Декларацію). Державний орган зобов'язаний реєструвати Декларацію за умови дотримання нормативних вимог і наявності незалежної експертизи. Декларація повинна перероблятися і підтверджуватися при реконструкції або модернізації об'єкта підвищеної небезпеки, яка змінює ризик об'єкта або після регламентованого терміну (наприклад, 5 років). Інститут незалежних експертів повинен бути створений компетентним органом державного управління. У цьому органі необхідно проходити атестацію і акредитацію

незалежних експертів і отримати кваліфікаційний доступ до виконання експертиз. У разі порушення регламентних вимог до Декларації, негативною експертизи або відсутності Декларації для проєктованого, яке експлуатується або ліквідується об'єкта підвищеної небезпеки, Носій ризику несе відповідальність відповідно до чинного національного законодавства. Компетентний орган державного управління при цьому може вимагати заборони роботи об'єкта підвищеної небезпеки. Декларація в повній мірі може бути запрошена для ознайомлення також органами місцевого самоврядування (представниками громади) для складання претензій (якщо така необхідність виникає) від імені третіх осіб.

- 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 (PML) 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 області техногенного ризику.

Зрозуміло, що для вирішення описаних задач необхідно організувати або створити компетентний орган державного регулювання в області техногенного ризику, розробити, удосконалити, гармонізувати нормативну базу. У разі відсутності необхідних законів і підзаконних актів або керівних документів виступити із законодавчою ініціативою. Забезпечити необхідний набір методик оцінки техногенного ризику і прийняття рішень на його основі. Створити інститут атестації та акредитації незалежних експертів, здатних забезпечити експертизу Декларацій і реєстраційний орган.

Економічні методи управління засновані на механізмах страхування промислових об'єктів підвищеної небезпеки і мають свою специфіку. Великі аварії зі значними матеріальними втратами є рідкісними подіями і ризику, пов'язані з такими аваріями не можуть коректно визначатися на основі тіль-

ки статистичних даних. Для таких об'єктів необхідна якомога більш якісна оцінка ризику. Перш за все, Страхувальник зобов'язаний подати Страховику всю необхідну інформацію, призначену для процедури оцінки ризику. У поточний момент ситуація така, що компанії, що здійснюють страхування ризиків, знаходяться в стані підвищеної відповідальності менеджменту з цих питань. Страхування осмислено лише тоді, коли його проводять на основі взаємної вигоди (win-win-situation). Якщо це недосяжно з якихось причин, то відсутня професійна основа для страхування. У зв'язку з цим важливо, зокрема, забезпечити доступ безпосередніх страховиків і перестраховиків до основ ризику, їх причин, до об'єктів і технологій, які проходять процедуру страховки.

Крім цього, важливо забезпечити високу якість аудиту (Survey) і передстрахових робіт (оцінок). Це означає, що нам необхідно перейти на такий рівень аудиту, який враховував би стандарти і поточний стан промисловості. Прояв матеріальної зацікавленості всіх учасників страхування і особливо страховика в попередженні та недопущенні збитку - основний мотив і мета страхування. Вона повинна стати основою і обґрунтуванням необхідності страхування об'єкта поряд з вимогами законодавства. Страхувальники повинні закладати власні витрати по франшизі, які можна сприймати як матеріальний стимул для реалізації контрольних функцій з їх боку за дотриманням умов зниження ризику, і поступово покращувати якості безпеки. Мініфраншизи необхідно викоринити і не допускати. Об'єкт або виробництво можуть провести страхування тільки тоді, коли воно супроводжується відповідною якістю оцінки та аналізу техногенного ризику (Risk management і RBI). Визначення рівня франшизи - завдання андеррайтера.

Об'єкти підвищеної небезпеки повинні страхуватися тільки на основі процедури андеррайтингу (внутрішнього аудиту ризику), пропорційного ризику. Страховики повинні створювати команди андеррайтерів відповідного рівня, які володіють необхідними знаннями і спеціальними Know-how для оцінки складних складових ризику. Нам же необхідно бути готовими допо-

могти в їх інформаційному забезпеченні та підвищенні кваліфікації у формі участі в організованих нами семінарах. Крім того, можливе забезпечення інформаційними та програмними засобами власних команд страховиків. Можливо також безпосереднє виконання операцій андеррайтингу під управлінням і на основі замовлення страховика.

У страхуванні необхідні ціни, які адекватні рівню ризику (risk-adequate pricing): страхувальники повинні бути мотивовані в достатній мірі. Вартість страхування (тарифи) повинна відчувати відчутне економічне тиск з метою підвищення якості управління рівнем безпеки виробництв.

Необхідно створити і забезпечити ділову основу для методів економічного регулювання техногенного ризику шляхом ефективного страхування. Також і страховики зобов'язані вимагати повної ясності від страхувальників щодо якості безпеки і рівня ризику, то ж саме повинні виконувати і компанії перестраховки. І, якщо перестраховальник не ставить до відома в повному обсязі про поточний ризик, який він повинен перевести на себе, то професійна ділова основа такого перестрашування не має місця. Терміни, умови, вартість і обґрунтованість перестрашування техногенних об'єктів повинні визначатися рівнем ризику, який приймає на себе перестраховальник.

У схемі побудови програми страхового захисту особливе місце займає збір і обробка інформації про ризик у вигляді звіту про ризикозахищеності підприємства, що включає в себе рекомендації щодо зниження ймовірності настання надзвичайних подій, в якому беруть участь менеджмент підприємства, фахівці Страховика, особи, відповідальні за техніку безпеки і промислову безпеку на підприємстві, фахівці інженерно-консалтингових центрів, сюрвейер і ін.

Ця процедура містить елементи інформаційної технології оцінки ризику складних промислових об'єктів, якою володіє описана в дисертації інформаційна технологія.

При визначенні бази вартості і бази відшкодування неминуча оцінка наслідків аварій, визначення PML, максимально можливого числа постраждалих та інших показників.

Проведення актуарних розрахунків для рідкісних подій (аварії великих масштабів відносяться до рідкісних подій) також має свою специфіку. Оцінка ризику дозволяє отримати кількісні показники надійності і рівня ризику підприємства та окремих технологічних елементів з урахуванням причинно-наслідкових зв'язків, що відображають реальний рівень експлуатаційного ризику і надійності персоналу підприємства.

Розробка вимог, що проводяться Сюрвейер (surveyor) також вимагає кваліфікованого підходу з урахуванням специфіки промислових об'єктів, так як технологічна складова обладнання може істотно впливати на ризик.

Особливе місце займає робота по визначенню матеріального відновлення в разі реалізації страхової події. Страховий випадок - (insured loss) подія, передбачена договором страхування або законом. При реалізації страхового випадку виникає обов'язок страховика по страховій виплаті страхувальнику, застрахованій особі, вигодонабувачу або іншим третім особам. У разі виникнення великих аварій на виробництві страховий випадок повинен проходити експертизу. Моделювання аварійних ситуацій і методи оцінки ризику опиняються зручним інструментом при розслідуванні або роботі представників страхової компанії, аварійного комісара та ін. Часто потрібне рішення незалежного експерта. Така послуга може бути надана.

PML (probable maximum loss) - ймовірний максимальний збиток. Метод визначення можливих збитків, заснований на моделюванні реалізації сценарію розвитку негативних подій і визначенні їх наслідків, використовується при корекції ризику і страхування спільно з іншими аналогічними методами, наприклад, такими як normal loss expectancy (NLE) і maximum foreseeable loss (MFL). При цьому з метою визначення PML в страхуванні ґрунтуються на розрахунку ліміту відповідальності для страхування по

першому ризику і, крім того на обґрунтування можливості власного утримання страхової компанії по якому або ризику.

В основному про рівень PML або estimated maximum loss (EML) говорять як про аналоги. Обидва показники сходяться до єдиної схеми обчислень і структуруються практично на однакових принципах. PML обчислюється з урахуванням окремих ризиків і його підсумкове значення представляється або у відсотках від загальної суми страхування, або в абсолютних кількісних показниках. Основні принципи розрахунку PML - аналіз небезпеки для експлуатованого об'єкта, поділ об'єкта на блоки, побудова сценаріїв виникнення і розвитку несприятливої події на основі причинно-наслідкових зв'язків досліджуваної технології. Блоки складаються з декількох технологічних об'єктів, які мають зв'язок між собою, але можуть бути відокремлені від інших об'єктів так, що при звичайних умовах розвитку негативного процесу не приводить до розширення шкоди від одного блоку до іншого.

При розрахунку PML розглядаються типові властивості страхуються об'єктів (пожежо- та вибухонебезпечні речовини і процеси, будівлі та обладнання, які становлять небезпеку, просторове і структурний розташування будівель, найбільш ймовірний і найбільш небезпечний сценарій розширення шкоди і т. д.), а також деякі умовні допущення.

Основний збиток майну і загроза життю і здоров'ю людей виникають при реалізації великих пожеж і вибухів. Поширення токсичної домішки в атмосфері носить більш протяжний характер і в основному не загрожує майну. При моделюванні пожеж і вибухів визначається можливий і очікуваний збиток. Сполучення їх значень можуть представляти всі основні показники ризику.

Таким чином, в процесі аналізу ризику весь техногенний об'єкт ділиться на незалежні технологічні системи, в яких можуть проявлятися явища, що характеризують ризики, і визначаються суми страхового відшкоду-

вання по кожній окремій системі. Максимальна страхова сума на одну систему буде являти собою можливий максимальний збиток (PML).

Слід зазначити, що PML по вторинним причин (перерва у виробництві) вважається окремо від PML зі страхування майнових втрат. При розрахунку PML крім перерахованих вище фактів і припущень беруться до уваги і інші:

- наявність обладнання з критичними процесами або станами;
- залежність технологій від автоматизованих систем;
- планування заходів по ліквідації надзвичайних ситуацій та можливість протистояти негативним подіям;
- особливості договорів з постачальниками і споживачами;
- стан роботи фірми на ринку;
- вплив вторинних збитків на зниження іміджу і т. п.

Розрахунок PML з урахуванням відкладеного шкоди технічно значно складніше і його точність нижче. Як правило, на сучасних виробництвах він перевищує PML, обчислений при страхуванні майна. Розрахунок втрат від перерви діяльності - в основному економічне завдання. Але при її вирішенні в якості вхідних даних використовуються результати моделювання для визначення рівня руйнування і втрат, на підставі якого визначається час відновлення.

Процедура андеррайтингу починається з складання опитувального листа, структура якого зазвичай розробляється кожної страховою компанією або консалтинговою фірмою самостійно. У всіх випадках оформляються та вносяться дані про рівень безпеки підприємства.

На наступному етапі вивчається технологія виробництва, проводиться попередній аналіз небезпеки (HAZID), виділяються структурні елементи - комплекси, для яких проводиться аналіз небезпеки і працездатності.

Для всіх виділених комплексів визначаються найбільш значущі за наслідками і найбільш ймовірні аварійні ситуації, для яких необхідно визна-

чити рівень матеріальних втрат і ймовірність їх реалізації. Після цього збирається і обробляється вхідна інформація для моделювання.

Використовуючи методи «дерев несправностей» і «дерев подій», створюються логічні причинно-наслідкові структури для кожного виділеного комплексу.

На цьому важливому етапі проводиться аналіз експлуатаційної надійності елементів комплексів і ефективності і надійності засобів захисту. Завдяки вбудованим засобам аналізу «дерев несправностей» і фільтрів «дерев подій», виділяються, упорядковано і аналізуються аварійні поєднання, в яких визначаються елементи технології або захисту, які найбільше впливають на ризик. Такий механізм допомагає прийняти рішення при виробленні правил страхування і вимог для сюрвейера.

Висновки по розділу 5

1. У розділі описані засоби практичної реалізації інформаційної технології оцінки та аналізу техногенного ризику, моделей і методів підтримки прийняття рішень щодо рівня надійності і безпеки небезпечних виробничих об'єктів.

2. Описані функції програмних і апаратних засобів дозволяють в повному обсязі вирішити задачу приведення ризику до прийняттого для хімічних, нафтохімічних виробництв, об'єктів енергетики та інших ОПН на основі організаційних та економічних заходів, що розробляються з урахуванням поточних об'єктивних кількісних і якісних показників безпеки і експлуатаційної надійності ОПН для різних стадій життєвого циклу.

3. Розроблені програмні засоби пройшли верифікацію і випробувані при виконанні множини робіт, виконаних при оцінці ризику промислових виробництв і систем транспортування небезпечних вантажів в Німеччині, Польщі, країнах СНД. Засоби і методи, описані в роботі розвиваються і проходять подальше впровадження та модернізацію.

4. Використання описаних в дисертації методів дозволяє істотно поліпшити механізми економічного впливу на рівень техногенного ризику за рахунок застосування описаних методів при проведенні передстрахового аудиту та андеррайтингу, а також шляхом створення інституту моніторингу ризику на державному рівні.

Матеріали розділу опубліковані в роботах автора [80, 81, 82, 83, 84, 104, 106, 107]

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 підтримці 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 фо-

рмалізованих 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 прийняттого.

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 прийняттого та поточного рівня ризику та зробити прозорим процес владнання розбіжностей між суспільством та промисловцями. Такій 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 вико-

ристання 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 приведення ризику до прийняттого.

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 аналізують-

ся, 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 доміщі, 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 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.

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 прийняттого, 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.

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 ін-

теграційних 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 ЛІТЕРАТУРИ

1. Баратов А.Н. Горение – пожар – взрыв – безопасность / А.Н. Баратов. – М.: ВНИИПО, 2003. – 364 с.
2. Баратов А. Н. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: Справочное издание: в 2-х книгах. Книга 1 / А. Н. Баратов, А. Я. Корольченко, Г. Н. Кравчук и др. – М.: Химия, 1990. – 496 с.
3. Баратов А. Н. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: Справочное издание: в 2-х книгах. Книга 2 / А. Н. Баратов, А. Я. Корольченко, Г. Н. Кравчук и др. – М.: Химия, 1990. – 384 с.
4. Баратов А.Н. Пожарная опасность строительных материалов / А.Н. Баратов, Р.А. Андрианов, А.Я. Корольченко и др.; Под ред. А.Н. Баратова. – М.: Стройиздат, 1988. – 380 с.
5. Бесчастнов М. В. Промышленные взрывы. Оценка и предупреждение / М. В. Бесчастнов. – М. : Химия, 1991. – 430 с.
6. Бесчастнов М. В. Аварии в химических производствах и меры их предупреждения [Текст] / М.В. Бесчастнов, В.М. Соколов, М.И. Кац. – Москва: Химия, 1976. – 367 с.
7. Бесчастнов М.В. Взрывобезопасность и противоаварийная защита химико-технологических процессов / М.В. Бесчастнов – М. : Химия, 1983 – 472 с.
8. Бегун В.В. Культура безпеки в ядерній енергетиці: Підручник. / В.В. Бегун, С.В. Широков, С.В. Бегун, Є.М. Письменний та ін. – К.: КПІ, 2012. – 563 с.
9. Бегун В.В. Безпека життєдіяльності (забезпечення соціальної, техногенної та природної безпеки) / В.В. Бегун, І.М. Науменко. – Київ: КПІ, 2004, 328 с.
10. Бегун В.В. Вероятностный анализ безопасности атомных станций. / В.В. Бегун, О.В. Горбунов, и др. – Киев, 2000, 558 с.

11. Белов П. Г. Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере / П. . Белов. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 512 с.
12. Белов П.Г. Методологические основы менеджмента техногенного риска / П.Г. Белов. – Безопасность в техносфере, 2006. – № 1. – С. 10-14, № 2. – С. 5-9.
13. Белов П.Г. Прогнозирование и регулирование техногенного риска с использованием качественных показателей / – Безопасность в техносфере, 2007. – № 1. – С. 10-17.
14. Белов П.Г. Теоретические основы системной инженерии безопасности. – Киев: КМУГА., 1997. – 426 с.
15. Болодьян И.А. Пожарная безопасность объектов изотермического хранения сжиженного природного газа. / И.А. Болодьян, В.П. Молчанов, Ю.И. Дешевых, Ю.Н. Шебеко, др. // В кн.: Пожарная безопасность и охрана труда в газовой и химической промышленности. – Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции. С-Петербург: 2000. – С 31-42.
16. Болодьян И.А. Критерии, определяющие обязательность оснащения наружных технологических установок автоматическими системами пожарной защиты. / И.А. Болодьян, А.Ю. Лагозин, В.П. Молчанов, В.П. Некрасов и др. // В кн: Снижение риска гибели людей при пожарах. – Материалы XVIII научно-практической конференции. Часть 1. М.: ВНИИПО, 2003, –С. 115-116.
17. Брушлинский, Н.Н. Системный анализ и проблемы пожарной безопасности народного хозяйства / Н.Н. Брушлинский, В.В. Кафидов, В.И. Козлачков и др. – М.: Стройиздат, 1998. – 415 с.
18. Брушлинский Н.Н. Моделирование пожаров и взрывов : [Монография] / И.Ф. Астахова, В.П. Беляцкий, Н.Н. Брушлинский и др.; Под общ. ред. Н.Н. Брушлинского ; Ассоц. "Пожнаука". Пожар. безопасность и наука. – М.: Ассоц. "Пожнаука", 2000. – 482 с.

19. Владимиров В. А. Аварийно химически опасные вещества [АХОВ]. Методика прогнозирования и оценки химической обстановки / В. А. Владимиров, В. С. Исаев. – М., 2000. – 56 с.
20. Владимиров, В.А. Катастрофы и экология / В.А. Владимиров, В.И. Измалков; – М.: Центр стратег. исслед. МЧС : Контакт-Культура, 2000. – 379 с.
21. Гельфанд Б. Е. Фугасные эффекты взрывов / Б. Е. Гельфанд, М. В. Сильников. - СПб. : Полигон, 2002 (ГИПК Лениздат). – 266 с.
22. Гельфанд Б. Е. Газовые взрывы / Б. Е. Гельфанд, М. В. Сильников. – Санкт-Петербург: Астерион, 2007. – 238 с.
23. Гельфанд Б. Е. Взрывобезопасность / Б. Е. Гельфанд, М. В. Сильников; под ред. В. С. Артамонова ; МЧС России, Санкт-Петербургский ун-т Гос. противопожарной службы. – Санкт-Петербург : Астерион, 2006. – 387 с.
24. Гельфанд Б. Е. Водород: параметры горения и взрыва / Гельфанд, Б.Е., Попов, О.Е., Чайванов, Б.Б. – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 284 с.
25. Лисиченко Г. В. Природний техногенний та екологічний ризику: аналіз, оцінка, управління : монографія / Г. В. Лисиченко, Ю. Л. Забулонов, Г. А. Хміль; Ін-т геохімії навколиш. середовища НАН України. - К. : Наук. думка, 2008. - 542 с.
26. Гражданкин А. И. Разработка экспертной системы оценки техногенного риска и оптимизации мер безопасности на опасных производственных объектах: дис. канд. техн. наук: 05.26.03 / Гражданкин А. И.. – М: Москва., 2001. - 233 с.
27. Гражданкин А.И. Экспертная система оценки техногенного риска опасных производственных объектов / А.И. Гражданкин, П.Г. Белов // Безопасность труда в промышленности. 2000. – №11. – С.6-10.
28. Гражданкин А.И. Использование вероятностных оценок при анализе безопасности опасных производственных объектов / А.И. Гражданкин,

- М.В. Лисанов, А.С. Печеркин // Безопасность труда в промышленности. 2001. – №5. – С.33-36.
29. Гражданкин А.И. Экспертная система оценки техногенного риска опасных производственных объектов // Безопасность жизнедеятельности. 2001 – №2. – С.6-10.
30. Гражданкин А.И. К вопросу об оценке риска при декларировании промышленной безопасности опасных производственных объектов / А.И. Гражданкин, А.А. Фёдоров // Безопасность жизнедеятельности. 2001. – №4. – С.2-6.
31. Гражданкин А.И. Оценка техногенного риска и оптимизация мер безопасности опасных производственных объектов // Материалы 8-й международной конференции "Проблемы управления безопасностью сложных систем". М.:ИПУ РАН. – 2000. – С.27-28.
32. Егоров А.Ф. Анализ риска, оценка последствий аварий и управление безопасностью химических, нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств / А. Ф. Егоров, Т. В. Савицкая. - Москва: КолосС, 2010. – 525 с.
33. Едигаров А.С. Математическое моделирование аварийного истечения и рассеивания природного газа при разрыве газопровода / А.С. Едигаров, В.А. Сулейманов // Математическое моделирование, 1995. - № 4. -С. 37-52.
34. Едигаров С.Г. Проектирование и эксплуатация нефтебаз / С.Г. Едигаров, В.М. Михайлов, А.Д. Прохоров, В.А. Юфин, – М.: Недра, 1982.-280 с.
35. Елохин А.Н. Методическое и программное обеспечение анализа риска аварий на предприятиях нефтяной промышленности. / А.Н. Елохин, А.В. Лебедев // Безопасность жизнедеятельности. 2002. – №2. – С.12-22.
36. Елохин А.Н. Оценка производственных рисков для целей риск-менеджмента предприятий нефтегазового комплекса. / А.Н. Елохин, И.Ю. Федькушов, И.А. Ксенофонтов, Д.С. Беляков // Безопасность жизнедеятельности. 2002. – №10. – С.46-58.

37. Измалков В.И. Техногенная и экологическая безопасность и управление риском. / В.И. Измалков, А.В. Измалков // СПб: НИЦЕБ РАН, 1998. – 375 с.
38. Владимиров В.А Радиационная и химическая безопасность населения. / В.А. Владимиров, В.И. Измалков, А.В. Измалков – М.: Деловой экспресс, 2005. 215 с.
39. Кафаров, В.В. Гибкие автоматизированные производственные системы в химической промышленности / В.В. Кафаров, В.В. Макаров. – М.: Химия, 1990. – 320 с.
40. Бояринов, А.И. Методы оптимизации в химической технологии / А.И. Бояринов, В.В. Кафаров. – М.: Химия, 1975. – 576 с.
41. Кафаров В.В. Математические основы автоматизированного проектирования химических производств: Методология проектирования и теория разработки оптимальных технологических схем. / В.В. Кафаров, В.П. Мешалкин, В.Л. Перов – М.: Химия, 1979. – 320 с.
42. Легасов В. А. Ядерная энергетика и международная безопасность / В.А. Легасов, Л.П. Феокистов, И. И. Кузьмин // Природа. – 1985. – № 6. – С. 6–16.
43. Легасов В.А. Химия. Энергетика. Безопасность / В.А. Легасов ; Российская акад. наук, Отд-ние химии и наук о материалах, Федеральное гос. учреждение Российский научный центр "Курчатовский ин-т". – Москва: Наука, 2007. – 411 с.
44. Лисанов М. В. Анализ риска в управлении промышленной безопасностью опасных производственных объектов нефтегазового комплекса [Текст] : дис... д-ра техн. наук: 05.26.03 / Лисанов М. В.; Москва - М., 2003. - 247 с.
45. Гражданкин А.И. Характерные ошибки анализа риска аварий при декларировании промышленной безопасности / А.И. Гражданкин, М.В. Лисанов, А.С. Печеркин, В.И. Сидоров // Безопасность труда в промышленности. – 2004. – N10. - С.6-12.

46. Шаталов А.А. Методика расчета распространения аварийных выбросов, основанная на модели рассеяния тяжелого газа / А.А. Шаталов, М.В. Лисанов, А.С. Печеркин, А.В. Пчельников, С.И. Сумской // Безопасность труда в промышленности, 2004. -№ 9 -С. 46-52.
47. Гражданкин А.И. Основные показатели риска аварии в терминах теории вероятностей / А.И. Гражданкин, Д.В. Дегтярев, М.В. Лисанов, А.С. Печеркин // Безопасность труда в промышленности. -2002. -№ 7. -С. 35-39.
48. Лисанов М.В. О техническом регулировании и критериях приемлемого риска/ М.В. Лисанов // Безопасность труда в промышленности. -2004. - № 5. -С. 11-14.
49. Можаяев И.Л. Основные принципы оценивания и нормирования приемлемого техногенного риска / И.Л. Можаяев и др. // Безопасность труда в промышленности. -2004. -№ 8. -С. 45-50.
50. Махутов Н.А. Информационная поддержка обеспечения безопасности при реализации инноваций / Н.А. Махутов, В.В. Грот, В.А Руденко, // Научное, экспертно-аналитическое и информационное обеспечение национального стратегического проектирования, инновационного и технологического развития России / Труды VI Всероссийской научно-практической конференции Ч.1. – М.: ИНИОН РАН, 2010. - С. 269-274.
51. Махутов Н. А. Ресурс безопасной эксплуатации сосудов и трубопроводов: [монография] / Н. А. Махутов, В. Н. Пермяков; М-во образования и науки Рос. Федерации, Тюм. гос. нефтегазовы ун-т [и др.]. - Новосибирск : Наука, 2005. - 515 с.
52. Мешалкин В. П. Экспертные системы в химической технологии [Текст] : основы теории, опыт разраб. и применения / В. П. Мешалкин. – Москва : Химия, 1995. – 366 с.
53. Можаяев А.С. Отчет о верификации программного средства "Программный комплекс автоматизированного структурно-логического моделирования и расчета надежности и безопасности систем" (АРБИТР, ПК АСМ СЗМА, базовая версия 1.0). Заключительная редакция с приложениями. /

- А.С. Можаяев, А.В. Киселев, А.В. Струков, М.С. Скворцов // СПб.: ОАО "СПИК СЗМА", 2007. – 1031 с.
54. Можаяев А.С. Общий логико-вероятностный метод анализа надежности сложных систем. Уч. пос. Л.: ВМА, 1988. - 68с.
55. Можаяев А.С. Общий логико-вероятностный метод автоматизированного структурно-логического моделирования надежности, безопасности и риска сложных систем. Многотомное издание "Безопасность России". Анализ риска и проблем безопасности. В четырех частях. Часть I. Основы анализа и регулирования безопасности. М.: МГФ "Знание", 2006, – 640 с. (с. 153-197).
56. Черкесов Г. Н. Логико-вероятностные методы расчета надежности структурно-сложных систем. / Г. Н. Черкесов, А.С. Можаяев// В кн. Надежность и качество изделий. М.: Знание, 1991. – с. 34-65.
57. Потехин Г. С. Управление риском в химической промышленности / Г.С. Потехин, Н. С. Прохоров, Г. Ф. Терещенко // Журнал Всесоюзного химического общества им. Д.И. Менделеева. 1990.- XXXY, №4.- С. 421 - 424.
58. Рябинин И. А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем / И. А. Рябинин ; М-во обороны Российской Федерации, Военный инженерно-технический ун-т, Российская акад. наук, Ин-т проблем машиноведения. - Санкт-Петербург : Изд-во Санкт-Петербургского ун-та, 2007. – 275 с.
59. Рябинин И. А. Структурно-сложные системы и их формализация с помощью функций алгебры логики. / И.А. Рябинин // «БИОСФЕРА», Том 4, №1, СПб, 2011, С.1-7.
60. Рябинин И. А. Моделирование и анализ безопасности и риска в сложных системах [Текст] = International scientific school "Modelling and analysis of safety and risk in complex systems" : [труды Международной школы, Санкт-Петербург, [6-10 июля 2010] / Russian academy of sciences, Institute of problems of mechanical engineering of RAS, Saint-Petersburg institute of

- informatics and automation of RAS, "INO_TEL" Ltd. ; [под ред. И. А. Рябина, Е. Д. Соложенцева]. - Санкт-Петербург : ГУАП, 2010. - 565 с.
61. Алымов В. Т. Техногенный риск: анализ и оценка / В. Т. Алымов, Н. П. Тарасова. - М. : Академкнига, 2004 (Акад. тип. Наука РАН). - 118 с.
62. Чекмарев А. М. Химия, ядерная энергетика и устойчивое развитие / А. М. Чекмарев, Н. П. Тарасова, Ю. В. Сметанников; под ред П. Д. Саркисова. - М. : Академкнига, 2006. – 286 с.
63. Шебеко Ю. Н. Оценка индивидуального и социального риска аварий с пожарами и взрывами для наружных технологических установок / Ю.Н. Шебеко, А.П. Шевчук и др. // Пожоровзрывобезопасность. – 1995. – Т. 4, №1. –С.21-29.
64. Ale V. J. M. Risk Practices in the Netherlands. Promotion of technical harmonization on risk-based decision-making. Proceedings – Part 1/2. Workshop held on 22-24 May, 2000, Stresa, Italy.
65. Griffiths R. F. The use of probit expressions in the assessment of acute population impact of toxic releases // Journal of Loss Prevention Process Ind. – 1991. – Vol. 4. January, P.49-57.
66. Brearley S. A. UK Railways: Using Risk Information in Safety Decision Making. Promotion of technical harmonization on risk-based decision-making. Proceedings – Part 2/2. Workshop held on 22-24 May, 2000, Stresa, Italy.
67. Хенли Э. Дж. Надежность технических систем и оценка риска: Пер. с англ. В. С. Сыромятникова / I.J. Henley, Н. Kumamoto - М.: Машиностроение, 1984. – 528 с.
68. Krishna S. Mudan. Thermal radiation hazards from hydrocarbon pool fires. // Progress in Energy and Combustion Science. – 1984. – No. 10. – P. 59-80.
69. Poblete B.R. The assessment of major hazards: estimation of injury and damage around a hazard source using an impact model based on inverse square law and probit relations / B.R. Poblete, F.P. Lees and G. B. Simpson // Journal of Hazardous Materials. – 1984. – No. 9. – P. 355-371.

70. Frank P. Lees Lee's Loss Prevention in the Process Industries Hazard Identification, Assessment and Control. Third edition. Dr. Sam Mannan, PE, CSP Department of Chemical Engineering, Texas A&M University, 2005
71. Frank P. Lees, "Loss Prevention in the Process Industry" Vol. 1-3 2nd edition ISBN 0 7506 1547 8 Butterworth Heinemann, 1996
72. Маршалл В. Основные опасности химических производств // Пер. с англ. Г. Б. Барсамяна и др.; Под ред. Б. Б. Чайванова, А. Н. Черноплекова - М.: Мир, 1989. - 671 с.
73. CPR 14E. Methods for the calculation of physical effects. "Yellow book" By ed. C. J. H. van den Bosch, R. A. P. M. Weterings. — Hague : Gevaarlijke Stoffen, 2005. — 870 p.
74. Puttock G.S. Marlin Sands experiments 1980: Dispersion results from continuous releases of refrigerated liquid propane, S. Hartwig (ed) // Heavy Gas and Risk Assessment. – 1980. – No. 11. – P.147–161
75. 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.
76. 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.
77. Лыфарь В.А. Моделирование сложных технологических процессов // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2008. – № 12 (130), Частина 1. – С. 31-37.
78. 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.

79. 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.
80. 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.
81. 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.
82. 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.
83. Лыфарь В.А. Модель информационного обмена в системе принятия решений диспетчером в условиях аварии / В.А. Лыфарь, С.А. Сафонова // Вісник національного технічного університету «ХПІ». – 2010. – № 57. – С. 168 – 173.
84. 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.
85. Лыфарь В. А. Метод оптимизации выбора средств защиты и управления объектов повышенной опасности // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. – 2011. – № 15(169). – С. 163 – 166.
86. Лыфарь В. А. Методы определения входных данных опасных свойств веществ // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. – 2012. – № 17(188). – С. 148 – 153.

87. 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.
88. 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.
89. 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.
90. Лыфарь В. А. Метод определения показателей надежности работы химического оборудования, подверженного коррозии // Вісник Східно-українського національного університету ім. Володимира Даля. – 2013. - № 14(203). – С. 121 – 124.
91. 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.
92. 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.
93. 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.
94. 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.
95. Лыфарь 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.
96. 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.
97. 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).
98. Грановский Э.А. Моделирование случайных и детерминированных процессов возникновения и развития техногенных аварий с использованием программного комплекса "ризэкс-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.
99. 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).
100. 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.

101. 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.
102. 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. – Том 2(Ч.2). – С. 559–561.
103. Skob Yu.A. Effectiveness Evaluation of Facilities Protecting from Hydrogen-air Explosion Overpressure / Yu.A. Skob, M.L. Ugryumov, E.A. Granovskiy, 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)
104. 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.
105. 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.
106. 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.

107. Лифар В.О. Моделі, методи та інформаційні технології управління техногенним ризиком об'єктів підвищеної небезпеки / 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.
108. 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.
109. 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.
110. Лебедев А. Н. Моделирование в научно-технических исследованиях / А.Н. Лебедев. – М.: Радио и связь, 1989. – 224 с.
111. Веников В. А. Теория подобия и моделирования / В. А. Веников, Г. В. Веников. - 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1984. – 439 с.
112. Белов П.Г. Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере / Белов П.Г. – М.: Академия, 2003. – 512 с.
113. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. / Е. С. Вентцель и др. – М.: Наука, 1969. – 576 с.
114. Берталанфи Л. Общая теория систем: Критический обзор // Исследования по общей теории систем. – М.: Прогресс, 1969. С. 23-82.
115. Месарович М. Основания общей теории систем / Общая теория систем. – М.: Мир, 1966. С. 15-48.
116. Тихонов А.Н. Концепция сетецентрического управления сложной организационно-технической системой / А.Н. Тихонов, А.Д. Иванников, И.В. Соловьёв, В.Я. Цветков, С.А. Кудж – М.:МаксПресс, 2010. – 136 с.

117. Kuja S. A. System Elements Heterogeneity / S. A. Kuja, I. V. Solovjev, V. Y. Tsvetkov // *European Researcher*, 2013, Vol.(60), № 10-1, p.2366-2373.
118. Майоров А.А., Геореференция как применение пространственных отношений в геоинформатике / А.А. Майоров, В.Я. Цветков // *Геодезия и аэрофотосъемка*. – 2012. – №3. – С. 87-89.
119. Цветков В.Я. Виды пространственных отношений / В.Я. Цветков // *Успехи современного естествознания*. – 2013. – № 5. – С. 138-140.
120. S. A. Kuja. Geoinformation Analysis // *European Researcher*, 2013, Vol.(60), № 10-1, pp. 2358-2365.
121. Tsvetkov V. Ya. Systems analysis in geoinformatics // *European Journal of Technology and Design*, 2013, Vol.(2), № 2, pp.135-140.
122. Майоров А.А. Состояние и развитие геоинформатики // *Международный научно-технический и производственный журнал «Науки о Земле»*. Выпуск 03-2012. С.11-16.
123. Tsvetkov V.Y. Dichotomous Systemic Analysis. // *Life Science Journal*. 2014. №11(6). p.586-590.
124. Цветков В.Я. Информационные модели и информационные ресурсы // *Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка*. 2005. №3. С.85-91.
125. Цветков В.Я. Создание интегрированной информационной основы ГИС // *Геодезия и аэрофотосъемка*. 2000. №4. С.150-154.
126. Hill Linda L. Georeferencing: The Geographic Associations of Information – MIT Press Cambridge, Massachusetts, London, England, 2009, 272 p.
127. Цветков В.Я. Пространственные знания // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2013. №7. С.43-47.
128. Майоров А.А. Новые системы хранения пространственной информации // *Перспективы науки и образования*. 2013. №5. С.25-31.
129. Орлов А. И. Теория принятия решений: учебник. – М.: Экзамен, 2006. – 573 с.

130. Литвак Б. Г. Разработка управленческого решения — М.: Издательство «Дело», 2004 г. — 392 с
131. Литвак Б. Г. Экспертные оценки и принятие решений.- М.: Патент, 1996. — 271 с.
132. Хемди А. Таха. Глава 14. Теория игр и принятия решений // Введение в исследование операций = Operations Research: An Introduction. — 7-е изд. — М.: «Вильямс», 2007. — С. 549-594.
133. Paul Goodwin and George Wright. Decision Analysis for Management Judgment, 3rd edition. Chichester: Wiley, 2004
134. Robert Clemen. Making Hard Decisions: An Introduction to Decision Analysis, 2nd edition. Belmont CA: Duxbury Press, 1996.
135. Anderson, Barry F. The Three Secrets of Wise Decision Making. Single Reef Press. 2002.
136. Бродецкий Г. Л. Моделирование логистических систем. Оптимальные решения в условиях риска. - М.: «Вершина», 2006. – 376 с.
137. Вилкас Э.Й. Системные решения: теория, информация, моделирование. – М.: Радио и связь, 1981.
138. Ермольев Ю.М. Математические методы исследования операций. / Ю.М.Ермольев, И.И. Ляшко, В.С. Михалевич, В.И. Тюптя – Киев: Выща школа, 1979. – 235 с.
139. Емельянов С.В. Многокритериальные методы принятия решений. / С.В. Емельянов, О.И. Ларичев – М.: Знание, 1985. – 165 с.
140. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений, а также Хроника событий в Волшебных странах / О. И. Ларичев. - 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Логос, 2006. – 392 с.
141. Моисеев Н. Н. Математические задачи системного анализа / Н. Н. Моисеев. – 2-е изд. – М.: URSS, 2011. – 487 с.
142. Шикин Е. В. Математические методы и модели в управлении : учебное пособие для студентов управленческих специальностей вузов / Е. В.

- Шикин, А. Г. Чхартишвили; Московский гос. ун-т им. М. В. Ломоносова, Фак. гос. управления. - Москва : КДУ, 2009. - 439 с.
143. Kalyanmoy Deb. A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: / Deb Kalyanmoy, Amrit Pratap, Sameer Agarwal // Nsga-ii. Evolutionary Computation, IEEE Transactionson. –2002. – 6(2) – pp. 182-197.
144. Kalyanmoy Deb: Introduction to evolutionary multiobjective optimization. // In Multiobjective Optimization, Springer. – 2008. – pages 59-96.
145. Fliege J. Newton's method for multiobjective optimization. / Joerg Fliege, LM Grana Drummond, and Benar F Svaiter // SIAM Journal on Optimization. – 2009. – 20(2) – pp. 602-626
146. Claus Hillermeier Generalized homotopy approach to multiobjective optimization. // Journal of Optimization Theory and Applications. – 2001. – 110(3) – pp. 557-583
147. Utyuzhnikov SV Local approximation of pareto surface. / SV Utyuzhnikov, J Maginot, and MD Guenov // In Proceedings of the World Congress on Engineering; Citeseer. – 2007. – volume 2 – pp. 898-903.
148. Eckart Zitzler Comparison of multiobjective evolutionary algorithms / Eckart Zitzler, Kalyanmoy Deb, and Lothar Thiele // Empirical results. Evolutionary computation. – 2000. – 8(2) – pp. 173-195
149. ГОСТ Р 51901-2002 (МЭК 60300-3-9:1995). Управление надежностью. Анализ риска технологических систем. М.: ИПК Издательство стандартов, 2002, 22 с.
150. Анализ видов и последствий потенциальных отказов. FMEA. Ссылочное руководство Перевод с английского четвертого издания от июня 2008 г.- Н. Новгород: ООО СМЦ "Приоритет", 2012. - 282 с.
151. ГОСТ 27.310-95 Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения./ Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. - Москва : ИПК Изд-во стандартов, 1996 г. - III, 19 с.

152. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью = Ч. 1. Общие требования : Functional safety of electrical, electronic, programmable electronic safety-related systems. Part 1. General requirements: национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р МЭК 61508-1-2007 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – М.: Стандартинформ, 2008. - V, 44 с.
153. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью = Ч. 2. Требования к системам : Functional safety of electrical, electronic, programmable electronic safety-related systems. Part 2. Requirements for systems: национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р МЭК 61508-2-2007 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – М.: Стандартинформ, 2008. - V, 58 с.
154. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью = Ч. 3. Требования к программному обеспечению : Functional safety of electrical, electronic, programmable electronic safety-related systems. Part 3. Software requirements : национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р МЭК 61508-3-2007 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – М.: Стандартинформ, 2008. - IV, 37 с.
155. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью = Ч. 4. Термины и определения : Functional safety of electrical, electronic, programmable electronic safety-related systems. Part 4. Terms and definitions : национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р МЭК 61508-4-2007 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – М.: Стандартинформ, 2008. - V, 21 с.
156. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью = Ч. 5. Ре-

комендации по применению методов определения уровней полноты безопасности : Functional safety of electrical, electronic, programmable electronic safety-related systems. Part 5. Guidelines for methods of the determination of safety integrity levels : национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р МЭК 61508-5-2007 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – М.: Стандартинформ, 2008. - IV, 22 с.

157. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью = Ч. 5. Рекомендации по применению методов определения уровней полноты безопасности : Functional safety of electrical, electronic, programmable electronic safety-related systems. Part 5. Guidelines for methods of the determination of safety integrity levels : национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р МЭК 61508-5-2012 / Федер. агентство по техн. регулированию и метрологии. – М.: Стандартинформ, 2014. - V, 33 с
158. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью = Ч. 6. Руководство по применению ГОСТ Р МЭК 61508-2-2007 и ГОСТ Р МЭК 61508-3-2007 : Functional safety of electrical, electronic, programmable electronic safety-related systems. Part 6. Guidelines on the application of GOST R IEC 61508-2-2007 and GOST R IEC 61508-3-2007 : национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р МЭК 61508-6-2007 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. - Москва : Стандартинформ, 2008. - V, 62 с.
159. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью = Ч. 7. Методы и средства : Functional safety of electrical, electronic, programmable electronic safety-related systems. Part 7. Techniques and measures : национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р МЭК 61508-7-2012 / Федер. агентство по техн. регулированию и метрологии; корпоративные

электрон. системы, консультационно-внедренческая фирма в области международ. стандартизации и сертификации. – М.: Стандартиформ, 2014. - V, 94 с.

160. Белов П. Г. Теоретические основы менеджмента техногенного риска [Текст] : дис... д-ра техн. наук: 24.10.07 / Белов П. Г.; ОАО «НТЦ «Промышленная безопасность» - М., 2007. - 418 с.
161. Артюшин Ю. И. Методические основы оценки и управления рисками чрезвычайных ситуаций горнодобывающих регионов [Электронный ресурс]: дис. ... канд. техн. наук : 05.13.10. /Артюшин Ю.И. – М.: РГБ, 2005. - 209 с.
162. Панов Б. В. Интеллектуальная информационная поддержка принятия решений в процессе проектирования и сопровождения планов локализации аварий опасных производственных объектов металлургических предприятий : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.01 / Панов Б. В.; [Место защиты: Череповец. гос. ун-т]. - Череповец, 2009. - 135 с.
163. Матвеев Ю. Н. Основы построения автоматизированных систем оперативного управления технической безопасностью химических производств: дис. ... д-ра техн. наук : 05.13.06 / Матвеев Ю. Н.; [Место защиты: Тверской государственный технический университет]. - Тверь, 2011. - 361 с.
164. Методики оценки последствий аварий на опасных производственных объектах: Сборник документов. Серия 27. Выпуск 2 / Колл. авт. – 2-е изд., испр. И доп. – М.: Государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2002. – 208 с.
165. Егоров А. Ф. Управление безопасностью химических производств на основе новых информационных технологий: учеб. пособие/А. Ф. Егоров, Т. В. Савицкая. – М.: Химия: КолосС, 2004 (Йошкар-Ола : ФГУП РМЭ Марийский ПИК). – 415 с.

166. Белов П.Г. Менеджмент техногенного риска: категории, принципы, методы/ П.Г. Белов, А.И. Гражданкин // Стандарты и качество. – 2004. – № 7. – С. 36–41.
167. Моделирование аварийных ситуаций на опасных производственных объектах. Программный комплекс ТОКСИ+ (версия 3.0): Сборник документов. Серия 27. Выпуск 5 / Колл. авт. – М.: Открытое акционерное общество «Научно-технический центр по безопасности в промышленности», 2006. – 252 с.
168. Федоров А. А. Методика автоматизированной оценки техногенного риска эксплуатации опасных производственных объектов / А. А. Федоров, А. И. Гражданкин // Безопасность жизнедеятельности. – 2001. – № 7 . – С. 7–12.
169. Норкин В. И. Об измерении и профилировании катастрофических рисков // Кибернетика и системный анализ. – 2006. – Т. 42, № 6. – С. 80–94.
170. Лифар В. О. Моделі надзвичайних ситуацій та метод оцінки техногенного ризику в автоматизованій системі забезпечення безпеки виробництва : Дис... канд. наук: 05.13.06 / В. О. Лифар; [Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»] - 2007. – 278 с.
171. Закон Украины об объектах повышенной опасности // Ведомости Верховной Рады (ВВР). – 2001. – № 15 – С. 73
172. Федеральный закон от 21 июля 1997 года N116-ФЗ "О промышленной безопасности опасных производственных объектов"// Собрание законодательства Российской Федерации, 1997, N 30, ст. 3588... N 26, ст. 3446
173. Порядок оформления декларации промышленной безопасности опасных производственных объектов и перечень включаемых в нее сведений. РД-03-14-2005 : [отв. разработ.: Н. Г. Кутьин и др.]. - Москва : Пром. безопасность, 2008. - 28 с.

174. Методика визначення ризиків та їх прийнятих рівнів для декларування об'єктів підвищеної небезпеки – К.: Основа, 2003. – 192 с.
175. Галеев Р.М. Основы методологии экспертизы промышленной безопасности зданий и сооружений, эксплуатируемых в коррозионно-опасных условиях) // Предотвращение аварий зданий и сооружений: Сб. науч. трудов. Вып. 8. - М.: МДП, 2010. - С. 312-317.
176. РД 26.260.004-91 «Прогнозирование остаточного ресурса оборудования по изменению параметров его технического состояния при эксплуатации» Изд-во НИИХИММАШ, М. - 1992. - 50 с.
177. ГОСТ 23942-80 «Оценка показателей качества продукции по изменениям контролируемого параметра». М.: Изд-во стандарт, 1980 г.
178. Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств : ПБ 09-540-03 / Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору ; [отв. разработ.: А. И. Субботин и др.]. - Москва : НТЦ "Промышленная безопасность", 2008. - 108 с.
179. Assessment of uncertainties in risk analysis of chemical establishments / K. Lauridsen, I. Kozine, F. Mar kert, A. Amendola, M. Christou, M. Fiori // The ASSURANCE project. Final summary report. National Laboratory, Roskilde, 2002. - 50 p.
180. ДИРЕКТИВЫ 2012/18/ЕС ЕВРОПЕЙСКОГО ПАРЛАМЕНТА И СОВЕТА 24.7.2012 RU // Официальный вестник Европейского Союза / 2012. - L 197/1
181. Р 50.1.089-2014. Использование внешних источников данных = Risk management. Use of external data sources : рекомендации по стандартизации / Разработан: Общество управления рисками – М.: Стандартиформ, 2015. - III, 11, [1] с.
182. Р 50.1.090-2014. Ключевые индикаторы риска = Risk management. Key risk indicators : рекомендации по стандартизации / Подготовлены: Обществом управления рисками – М.: Стандартиформ, 2015. - IV, 15, [1] с.

183. Р 50.1.091-2014. Основные подходы к менеджменту риска организаций малого и среднего бизнеса = Risk management. Main approaches to risk management of small and medium-sized enterprises: рекомендации по стандартизации / Подготовлены: Обществом управления рисками – М.: Стандартинформ, 2015. - IV, 15, [1] с.
184. Р 50.1.093-2014. Менеджмент риска. Принципы оценки эффективности воздействий на риск = Risk management. Efficiency assessing principles of influence on risk: рекомендации по стандартизации / Подготовлены: Обществом управления рисками – М.: Стандартинформ, 2015. - IV, 11 с.
185. Шор Я. Б. Таблицы для анализа и контроля надежности / Я. Б. Шор, Ф. И. Кузьмин. – М.: Сов. радио, 1968. - 284 с.
186. Методические рекомендации по оценке ущерба от аварий на опасных производственных объектах : РД 03-496-02 / [ред. комис.: А. В. Денисов и др.]. - 3-е изд., испр. и доп. – М.: Пром. безопасность, 2009. - 36 с.
187. Борисов А. Н. Комментарий к Федеральному закону от 24 июля 1998 г. № 125-ФЗ "Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний" / А. Н. Борисов. – М.: Юстицинформ, 2011. - 303 с.
188. Постановление Ростехнадзора РФ от 29.10.02г. № 63 «Об утверждении Методических рекомендаций по оценке ущерба от аварий на опасных производственных объектах».
189. Базовые нормативы платы за выбросы, сбросы загрязняющих веществ в окружающую природную среду и размещение отходов. (утв. Приказом Министерства охраны окружающей среды и природных ресурсов Российской Федерации от 27.11.92 б/н., с изм. на 18.08.93 г).
190. Економіка підприємства: Підручник / За заг. ред. С.Ф. Покропивного. – Вид. 2-ге, перероб. та доп. – К.: КНЕУ, 2001. – С.436
191. Обеспечение мероприятий и действий сил ликвидации чрезвычайных ситуаций: книга 2. Оперативное прогнозирование инженерной обстановки

- новки в чрезвычайных ситуациях. / Под общ. ред. С.К. Шойгу/ Г.П. Саков, М.П. Цивилев, И.С. Поляков и др. - М: ЗАО «ПАПИРУС», 1998. - 166 с.
192. AERMOD: Description of Model Formulation / by Cimorelli, A. J., S. G. Perry, A. Venkatram, J. C. Weil, R. J. Paine, R. B. Wilson, R. F. Lee, W. D. Peters, R. W. Brode, and J. O. Paumier,/ EPA-454/R-03-004. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC. 2004. – 91 p.
193. AERSURFACE User's Guide. / EPA-454/B-08-001. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park / - EPA, 2015 – 115 p.
194. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа : / Л. Г. Лойцянский. - 6-е изд., перераб. и доп. - М. : Наука, 1987. - 840 с.
195. Ландау Л. Д. Теоретическая физика / Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшиц; под ред. Л. П. Питаевского. - 5. изд., стер. – М.: Физматлит, 2002-. - 22 см. - (Теоретическая физика). Т. 6: Гидродинамика. - 2006. - 731 с.
196. Защита объектов народного хозяйства от оружия массового поражения: Справочник / Г. П. Демиденко, Е. П. Кузьменко, П. П. Орлов и др.; Под ред. Г. П. Демиденко. - 2-е изд., перераб. и доп. – Киев: Выща шк., 1989. – 286 с.
197. Взрывные явления. Оценка и последствия: В 2-х кн. Пер. с англ./ Бейкер У. и др.; под ред. Я. Б. Зельдовича, Б. Е. Гельфанда.– М.: Мир, 1986. – 193 с.
198. Динамический расчет сооружений на специальные воздействия/ М. Ф. Барштейн, Н. М. Бородачев, Л. Х. Блюмина и др.; Под ред. Б. Г. Коренева, И. М. Рабиновича.– М.: Стройиздат, 1981. – 215 с.
199. Садовский М. А. Механическое действие воздушных ударных волн по данным экспериментальных исследований // Сб. «Физика взрыва». – М.: АН СССР, 1952. –№ 1. - С. 20-111.
200. Гельфанд Б. Е. Химические и физические взрывы. Параметры и контроль. / Б. Е. Гельфанд, М. В. Сильников / – СПб.: ООО «Издательство Полигон», 2003. – 416 с.

201. ГОСТ Р 12.3.047-98 Пожарная безопасность технологических процессов./ Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2000 г. - III, 36 с.
202. Пономарев А.А. Параметры пожаровзрывоопасности струйных выбросов горючих газов. / А.А. Пономарев, В.Л. Карпов, В.В. Строганов, В.И.Макеев, В.П. Некрасов // Пожарная безопасность. -№ 1-М.: ВНИИ-ПО, 2007. – С.40-46.
203. Methods for the determination of possible damage to people and objects resulting from releases of hazardous materials. 'Green book' CPR 16E. Hague : Gevaarlijke Stoffen, 2005. — 604 p.
204. Acute Exposure Guideline Levels for Selected Airborne Chemicals. Volume 4. Subcommittee on Acute Exposure Guideline Levels Committee on Toxicology Board on Environmental Studies and Toxicology. National Research Council of the National Academies. 2004. USA. p. 99
205. Мастрюков Б. С. Безопасность в чрезвычайных ситуациях / Б. С. Мастрюков. – М.: Издательский центр "Академия", 2003. – 336 с.
206. Fairhurst S. Toxicological assessments in relation to major hazards./ S Fairhurst, R. M. Turner // Journal of Hazardous Materials 33, 1993. - p. 215-227.
207. Davies P. C. and Purdy G. Toxic Risk Assessments - The effect of Being Indoors. Refinement of Estimates of the Consequences of Heavy Toxic Vapour Releases./ P. C. Davies, G. Purdy // I Chem. E. Symposium No. 1, Manchester, January 1986. - p.107
208. Крутов В. И. Техническая термодинамика / В. И. Крутов, С. И. Исаев, И. А. Кожин и др.; Под ред. В. И. Крутова. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Высш. шк., 1991. – 382 с.
209. Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент.: Справочник / Под общ. Ред. чл.-корр. АН СССР В. А. Григорьева, В. М. Зорина. – 2-е изд.- М.: Энергоатомиздат, 1988.-560 с.

210. Альтштуль А. Д. Гидравлическое сопротивление. – М.: Стройиздат, 1973. – 287 с.
211. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И. Е. Идельчик; Под ред. М. О. Штейнберга. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Машиностроение, 1992. – 671 с.
212. Бегун В. В. Державний контроль безпеки на основі оцінок ризику. / В. В. Бэгун // Науковий вісник. УкрНДІПБ, вип.– 2009. – № 2 (20). – С. 7–17.
213. 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.
214. Функциональная безопасность в непрерывных производствах. Руководство по безопасности процессов / IEC 61511:2004 Functional Safety – Safety Instrumented Systems for the Process Industry Sector/ национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р МЭК 61511-1-2011 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – М.: Стандартинформ, 2013. – V, 66 с.
215. Руководство по функциональной безопасности для систем, связанных с безопасностью, и других применений с уровнем SIL2, SIL3 в соответствии со стандартами МЭК 61508 и МЭК 61511 / GM International Technology for safety / Via San Fiorano 70, 20058 Villasanta (MI) Italy, 2013. – D100, 77 p.
216. Ногин В. Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 144 с.
217. Кельтон В. Имитационное моделирование. — СПб.; Питер: Киев: Издательская группа ВНУ, 2004, — 847 с.
218. Бабкин Е. А. О формализме событийно-автоматного моделирования // Третья всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности

«Имитационное моделирование. Теория и практика» ИММОД-2007: сб. докладов. Т. 1. СПб.: ФГУП ЦНИИТС, 2007а. С. 82–86.

219. Поляков А.С. Концептуальные основы оптимизации надежности резервуаров для нефтепродуктов с учетом требований промышленной безопасности. / А.С. Поляков, Б.С. Квашнин, А.А. Климантов // Проблемы управления рисками в техносфере, - №2 6., СПб У ГПС МЧС РФ. 2008. – С.32-45.
220. Седов Л. И. Методы подобия и размерности в механике / Л. И. Седов. – М.: «Наука», 1977. – 440 с.

ДОДАТОК А. Деякі терміни, визначення і приклади в галузі управління техногенною безпекою.

Аналіз ризику або ризик-аналіз (Risk Analysis, Process Hazard Analysis) - систематичне використання наявної інформації для виявлення небезпек і оцінки ризику для окремих осіб або груп населення, майна або навколишнього середовища.

Ризик - кількісна міра небезпеки з урахуванням її наслідків. Стосовно до об'єкта підвищеної небезпеки: ризик - імовірність певної негативної події, яка може відбутися в певний діапазон часу при певних обставинах. Ризик R може бути визначений як добуток імовірності небезпеки аналізованої події або процесу P на магнітуду очікуваних наслідків (збитків) Q : $R = P \cdot Q$.

Управління ризиком – процес прийняття рішень і здійснення заходів, спрямованих на мінімізацію ризику. Управління ризиком базується на комплексному підході (профілактиці), з урахуванням максимально можливого числа значущих компонентів і їх взаємозв'язків.

Збиток – кількісна міра втрат, що сталися в результаті фізичної прояви негативної події.

Простір ризику – область простору фізичної прояви розглянутої негативної події.

Прийнятний ризик – ризик, який не перевищує прийнятого допустимого рівня.

Територіальний ризик – ймовірність ураження людини в результаті впливу негативних подій в заданій області простору протягом певного періоду часу. Інше визначення - просторовий розподіл частоти реалізації негативного впливу певного рівня.

Добровільний ризик - це ризик, що людина бере на себе в особистому житті шляхом вільного вибору способу життя і роду особистих занять.

Вимушений ризик - це ризик діяльності людини, що здійснюється в певних умовах.

Надзвичайна ситуація - обстановка на визначеній території або акваторії, що склалася в результаті аварії, небезпечного природного явища, катастрофи, стихійного чи іншого лиха, які можуть спричинити або спричинили за собою людські жертви, шкоду здоров'ю людей або навколишньому природному середовищу, значні матеріальні втрати і порушення умов життєдіяльності людей.

Стійкість - це властивість об'єкта зберігати свої параметри в межах встановлених допусків і виконувати свої функції під час і після зовнішніх навантажень.

Захищеність - здатність об'єкта протистояти уражаючим впливам, послаблюючи їх інтенсивність. Вона зазвичай характеризується коефіцієнтом ослаблення зовнішніх впливів.

Втрати - це вихід з ладу людей з огляду на їх загибель, поранення, травми, хвороби.

Аналіз ризику (2) - процес ідентифікації небезпек і оцінки ризику для окремих осіб, груп населення, різного роду соціальних, політичних, господарських структур, елементів навколишнього природного середовища та інших об'єктів життєдіяльності.

Стихійне лихо - руйнівне природне або природно-антропогенне явище або процес значного масштабу, в результаті якого може виникнути або виникла загроза життю і здоров'ю людей, статися руйнування чи знищення матеріальних цінностей і компонентів навколишнього природного середовища. Стихійні лиха є основним джерелом надзвичайних ситуацій природного характеру, оскільки виникають вони досить часто і мають значний масштаб.

Природна катастрофа - стихійне лихо особливо великих масштабів і з найбільш тяжкими наслідками, що супроводжується незворотними змінами ландшафту та інших компонентів навколишнього природного середовища. Такі події є рідкісними, але найбільш руйнівними.

Індивідуальний ризик - це міра можливості настання негативних наслідків для здоров'я однієї людини через дію на людину на території його можливого знаходження протягом часу t небезпечних факторів життєдіяльності, що проявляються постійно, або в разі реалізації небезпечних подій.

Техносфера - сукупність штучних об'єктів в межах географічної оболонки Землі і навколоземного космічного простору, створених людиною з речовини навколишнього його неживої і, частково, живої природи.

Зона ураження – локалізований простір, в околицях якого можливе ураження.

Область (майданчик) – локалізований простір, для якого відомо середнє число людей у відкритому просторі даного майданчика.

Можливе число уражених – кількість людей, яке може бути уражено при реалізації певного негативного впливу.

Очікуване число уражених (колективний ризик) – кількість ймовірно уражених людей протягом певного періоду часу.

Соціальний ризик - залежність частоти подій, в яких постраждало на тому чи іншому рівні більш, ніж певне число людей.

Роза вітрів – векторна діаграма, що характеризує швидкості і напрямку вітру в даному місці за результатами багаторічних спостережень.

Моделювання ризику - дослідження об'єктів пізнання на їх моделях; побудова моделей реально існуючих або можливих явищ (різних процесів, явищ і т. п.).

Шкода (harm): Фізичний збиток або шкода здоров'ю, майну або навколишньому середовищу.

Небезпека (hazard): Джерело потенційної шкоди або ситуація з потенційною можливістю нанесення шкоди.

Небезпечна подія (hazardous event): Подія, яка може завдати шкоди.

Ідентифікація небезпеки (hazard identification): Процес усвідомлення того, що небезпека існує, і визначення її характерних рис.

Оцінка ризику (risk assesment): Загальний процес аналізу ризику та оцінювання ризику.

Управління ризиком (risk control): Операції, які виконуються для виконання рішень в рамках менеджменту ризиків. Управління ризиком може включати моніторинг, переоцінювання і відповідність з прийнятими рішеннями.

Оцінка величини ризику (risk estimation): Процес присвоєння значень ймовірності і наслідків ризику. Оцінка величини ризику може розглядати вартість, вигоди, заклопотаність сторін-учасниць і інші змінні, що розглядаються при оцінюванні ризику.

Оцінювання ризику (risk evaluation): Процес порівняння оціненого ризику з даними критеріями ризику з метою визначення значущості ризику. Оцінювання ризику може бути використано для сприяння рішенням щодо прийняття або обробці ризику.

Менеджмент ризику (risk management): Скоординовані дії по керівництву і управлінню організацією стосовно ризиків. Зазвичай менеджмент ризику включає оцінку ризиків, обробку ризиків, прийняття ризиків і комунікацію ризиків.

Система (system): Складений об'єкт будь-якого рівня складності, який може включати персонал, процедури, матеріали, інструменти, обладнання, засоби обслуговування, програмне забезпечення.

Страховик - Страхова компанія, від імені якої укладається договір (договори) добровільного страхування майна. Страховка (insurance).

Страховальники - юридичні особи, незалежно від форм власності, резиденти і нерезиденти, дієздатні фізичні особи, які уклали із страховиком договір страхування і мають майновий інтерес, що не суперечить закону, пов'язаний з володінням, користуванням і розпорядженням майном.

Страховальниками можуть бути:

- Юридичні особи та фізичні особи, зареєстровані в установленому законом порядку;

- Дієдатні фізичні особи.

Вигодонабувач - фізична або юридична особа, яка може зазнати збитків в результаті настання страхового випадку, і в зв'язку з цим, має інтерес, заснований на законі, іншому правовому акті або договорі, по збереженню застрахованого майна, а також визначено Страхувальником в договорі страхування як особа, яка має право отримати страхове відшкодування при настанні страхового випадку.

Страховий ризик - певна подія, на випадок якої здійснюється страхування і яка має ознаки ймовірності та випадковості настання.

Страховий випадок - подія, передбачена договором страхування або законодавством, яка відбулася і з настанням якої виникає обов'язок страховика здійснити виплату страхової суми (страхового відшкодування) страхувальнику, застрахованій або іншій третій особі.

Страхова сума - грошова сума, в межах якої Страховик відповідно до умов договору страхування зобов'язаний провести виплату страхового відшкодування при настанні страхового випадку.

Страховий платіж - плата за страхування, яку Страхувальник зобов'язаний внести Страховику згідно з договором страхування.

Франшиза - частина збитку, яка не відшкодовує за договором страхування.

Страхове відшкодування - сума, в межах встановленої договором страхування страхової суми, яку Страховик відповідно до умов договору страхування повинен виплатити Страхувальнику або Вигодонабувачу при настанні страхового випадку.

Нерухоме майно - об'єкти, розташовані на земельній ділянці і невід'ємно пов'язані з нею, переміщення яких є неможливим без їх знецінення.

Рухоме майно - матеріальні об'єкти, які можуть бути переміщеними без заподіяння їм шкоди. До рухомого майна належить майно, яке не є нерухомістю, в т.ч. товари в обороті, і призначене для використання суб'єктом

господарювання при здійсненні ним своєї господарської (підприємницької) діяльності і для задоволення соціально-культурних (побутових) потреб.

Знищення майна - втрата майном своїх експлуатаційних споживчих якостей, внаслідок чого виключається їх відновлення і подальше використання майна за своїм призначенням.

Пошкодження майна - часткова втрата майном своїх експлуатаційних якостей, які можуть бути відновлені з подальшим використанням майна за своїм призначенням. Застраховане майно вважається пошкодженим, якщо витрати на відновлення з урахуванням вартості залишків майна, придатних для подальшої експлуатації, не перевищують дійсну вартість пошкодженого майна, яке воно мало безпосередньо перед настанням страхового випадку.

Знос майна - втрата вартості майна порівняно з вартістю аналогічного нового майна, обумовлена частковою або повною втратою первісних технічних та технологічних якостей майна, внаслідок його експлуатації або старіння.

Ліміт відповідальності страховика - граничний розмір страхового відшкодування в межах страхової суми, який за угодою сторін може встановлюватися по окремому страховому ризику / випадку та / або по одиниці / групі застрахованого майна.

РМЛ – максимально можливий збиток для майна Страхувальника.

Правила добровільного страхування – правила, які є невід'ємною частиною договору про страхування.

АктUARні розрахунки — розрахунки тарифних ставок страхування на основі методів математичної статистики. Застосовуються у всіх видах страхування. Засновані на використанні закону великих чисел. Відображають у вигляді математичних формул механізм утворення і витрачання страхового фонду в довгостроковому страхуванні.

Страхування - створення за рахунок коштів організацій і громадян спеціальних резервних фондів - страхових фондів, призначених для відшко-

дування збитків, завданих несприятливими подіями, зокрема, надзвичайними ситуаціями природного та техногенного характеру.

Перестраховування - це вже сукупність відносин між страховиками зі страхування ризику.

Інвестиційний клімат - це економічні, політичні, фінансові умови, що впливають на приплив внутрішніх і зовнішніх інвестицій в економіку країни.

Ліцензія - спеціальний дозвіл на здійснення конкретного виду діяльності при обов'язковому дотриманні ліцензійних вимог і умов, видане органом, що ліцензує юридичній особі або індивідуальному підприємцю.

Ліцензіат - юридична особа або індивідуальний підприємець, що мають ліцензію на здійснення конкретного виду діяльності.

Ліцензований вид діяльності - вид діяльності, на здійснення якого на території країни вимагається отримання ліцензії від державних органів управління.

Ліцензуючі органи - органи виконавчої влади, які здійснюють ліцензування.

Раціональність розміщення - забезпечення максимального ступеня збереження резервів при безпосередньому виконанні заходів по ліквідації надзвичайних ситуацій та дислокація на тих територіях, де, виходячи з оцінки ризиків, можлива найбільша ймовірність виникнення надзвичайних ситуацій.

Мобільність - підтримання високого ступеня підготовленості резервів до оперативного переміщення в зони надзвичайних ситуацій, а також здійсненню приймання, переробки і підготовки резервів матеріальних ресурсів до використання при ліквідації надзвичайних ситуацій.

Достатність - обсяги резервів, їх структура, асортимент, якісні показники і характеристики повинні забезпечувати проведення першочергових робіт з ліквідації надзвичайних ситуацій відповідно до прогнозованого збитком, програмою і послідовністю проведення аварійно-рятувальних та ін-

ших невідкладних робіт, специфікою регіону або об'єкта, видом надзвичайної ситуації.

Керованість - відповідність системи управління виробництвом і використанням резервів матеріальних ресурсів для ліквідації надзвичайних ситуацій завдань, що вирішуються в процесі ліквідації надзвичайних ситуацій та її спряженість з системами управління всіх органів управління, що беруть участь в ліквідації надзвичайних ситуацій.

Економічність - обсяги витрат (асигнувань), що виділяються на створення, зберігання, використання і поповнення резервів матеріальних ресурсів для ліквідації надзвичайних ситуацій повинні мінімізувати залучення для цих цілей матеріальних ресурсів з інших джерел, а також визначатися відповідно до шкодою, якої нібито, програмою і послідовністю проведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт, специфікою регіону або об'єкта, видом надзвичайної ситуації.

Збиток - це результат негативного зміни внаслідок якихось подій, явищ, дій стану об'єктів, що виражається в порушенні їх цілісності або погіршенні інших властивостей; фактичні або можливі соціальні та економічні втрати (відхилення здоров'я людини від середньостатистичного значення, тобто його хвороба або навіть смерть; порушення процесу нормальної господарської діяльності; втрата того чи іншого виду власності, інших матеріальних, культурних, історичних або природних цінностей і т. д.) і / або погіршення природного середовища або в навколишньому середовищі.

Непрямі збитки від надзвичайних ситуацій - це втрати, збитки і додаткові витрати, які понесуть об'єкти, що не потрапили в зону дії негативних факторів небезпечного явища та викликані порушеннями і змінами в такій структурі господарських зв'язків, інфраструктурі, біоценозах, а також втрати (додаткові витрати), викликані необхідністю проведення заходів по ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

Страхова сума - це сума, оголошується страхувальником під час укладання договору страхування, на яку він страхує свій інтерес.

Страхування відповідальності - галузь страхування, де об'єктом страхування виступає відповідальність перед третіми (фізичними і юридичними) особами, яким може бути завдано шкоди (шкода) внаслідок якої-небудь дії або бездіяльності.

Іноземні вказники:

Таблиця А. 1

Термінологія російською		Термінологія європейською	
Код	Рошифровка	Код	Розшифровка
МЭК	Международная электротехническая комиссия	IEC	International electro technical commission
ДИН	Немецкие промышленные нормы	DIN	Deutsche Industri Normen
TUV	Немецкая ассоциация технического надзора	TUV	Technischer Überwachungsverein (Technical Inspection Association)
ANSI	Американский институт стандартизации	ANSI	American national standard institute
ISA	Американское общество приборостроителей	ISA	Instrument society of America
NPD	Норвежский нефтяной директорат	NPD	Norwegian Petroleum Directorate
SINTEF	Фонд научных и промышленных исследований, Норвегия	SINTEF	Foundation of Scientific and Industrial Research
OREDA	Справочник данных о надежности, Норвегия	OREDA	Offshore Reliability Data Handbook
NORSOK	Норвежская организация стандартов нефтяной промышленности	NORSOK	Norwegian Oil Industry Standards Organization
NUREG	Комиссия по ядерному регулированию	NUREG	Nuclear Regulatory Commission
КИП и СА	Контрольно-измерительные приборы и средства автоматизации	-	Instrumentation
АСУТП	Автоматизированная система управления технологическими процессами	ACS PCS PAS	Automated Control System Process Control System Process Automation System
ТП	Оборудование технологичес-	EUC	Equipment under control (IEC

	кого процесса, находящееся под контролем		61508) = Process (IEC 61511)
PCU	Распределенная система управления	DCS BPCS EUCCS	Distributed control system Basic process control system (ISA 84.01) EUC control system (IEC 61508)
ПАЗ СБ	Система противо-аварийной защиты - Система защиты. Система безопасного останова. Система останова процесса. Высоко интегрированная система защиты	ESD SSD PSD HIPS SIS SRS	Emergency shutdown system Safety shutdown system Process shutdown system High integrity protection system Safety instrumented system (DIN, ISA) Safety related system (IEC)
Е/Е/PES PES	Электрическая / Электронная / Программируемая электронная система Программируемая	Е/Е/PES PES	Electrical / Electronic / Programmable electronic system Programmable
ППО	Прикладное программное обеспечение	-	Application software
CCF	Отказы общей причины, общего происхождения	CCF	Common Cause Failure
SFF	Доля безопасных отказов	SFF	Safe failure fraction
SIF	Функция безопасности	SIF	Safety instrumented function
СУПБ	Система управления промышленной безопасностью	PSM	Process safety management
RMP	Программа управления рисками	RMP	Risk management program
EPA	Агентство по охране окружающей среды	EPA	Environmental
OSHA	Управление по ТБ и охране труда	OSHA	Occupational safety and health administration
FMEA	Анализ эффектов режимов отказов	FMEA	Failure Modes Effect Analysis
FMEDA	Анализ режимов, эффектов и диагностики отказов	FMEDA	Failure Modes, Effects and Diagnostic Analysis
HAZOP	Исследование опасности и работоспособности	HAZOP	Hazard and operability study
HAZID	Идентификация отказов	HAZID	Hazard identification
HSE	Британская инспекция охраны здоровья	HSE	Health Safety Executive
PIA	Анализ опасности процесса	PHA	Process hazard analysis

QRA	Количественная оценка риска и надежности	QRA	Quantitative risk and reliability assessment
FTA	Анализ дерева отказов	FTA	Fault tree analysis
СТБ	Спецификация требований к безопасности	SRS	Safety requirements specification
ALARP	Настолько низкий показатель, уровень требований, насколько это оправдано практикой	ALARP	As low as is reasonably practicable
MTTF	Среднее время работы до отказа	MTTF	Mean time to failure
MTBF	Среднее время между отказами	MTBF	Mean time between failures
MTTR	Среднее время восстановления работоспособности	MTTR	Mean time to repair
PFH	Вероятность (интенсивность, частота) опасных отказов в час	PFH	Probability (intensity) of dangerous failures per hour
PFD	Средняя вероятность отказа выполнения требуемой функции (отказа на запрос)	PFD	Average probability to fail on demand -Average probability of dangerous event upon request
RRF	Фактор снижения риска	RRF	Risk reduction factor $\leq 1/PFH$
FIT	$1.0 \cdot 10^9$ отказов в час	FIT	$1.0 \cdot 10^9$ failures per hour
SIL	Интегральный уровень безопасности	SIL	Safety integrity level (ISA, IEC)
AKRC	Классы требований Безопасности	AKRC	Anforderungs Klasse (DIN V 19250) = Requirements Class (DIN VVDE 0801)
HART	Комбинированный цифро-аналоговый протокол	HART	High Addressable Remote Transducer
HCF	Ассоциация протокола HART	HCF	HART Communication Foundation
HIS	Решения по интерфейсу HART	HIS	HART Interface Solutions
УОП	Управление оборудованием предприятия	PAM	Plant Asset Management
МРП	Менеджер ресурсов предприятия	PRM	Plant Resource Manager (Yokogawa Electric)
СОП	Система обслуживания поля (полевого оборудования)	AMS	Asset Management Solutions (Emerson)

Зразок робочого листа слів-показчиків «ні, ні» по відношенню до «витраті» представлено в таблиці А.2.

Таблиця А.2

Слова-показчики HAZOP II

Слово-вказівник	визначення
Ні	Жодна з частин передбачуваного результату не досягається (наприклад, немає витрати)
Більш	Кількісне збільшення (наприклад, високий тиск)
Менш	Кількісне зменшення (наприклад, низький тиск)
також	Якісне збільшення (наприклад, додатковий матеріал)
Частина (будь-чого)	Якісне зменшення (наприклад, тільки один або два компонента в суміші)
Зворотне	Протилежне (наприклад, протитечія)
Інакше	Жодна з частин задуму не здійснюється, відбувається щось зовсім інше (наприклад, потік невідповідного матеріалу)

Таблиця А.3

Зразок робочого листа слів-показчиків «ні»HAZOP II

Слово-показчик	Відхилення	Можливі причини	Наслідки	Необхідні дії
Ні	Немає витрати	1) Відсутність пропонованого матеріалу	Вироблення формованого полімеру буде знижена	а) Забезпечити добрий зв'язок з оператором б) Передбачити сигнал низького рівня на установчому резервуарі
		2) Несправний насос (багато причин)	Вироблення формованого полімеру буде знижена	Передбачити сигнал низького рівня на установчому резервуарі

		3) Закупорювання лінії або помилково закритий клапан або не закривається регулюючий клапан	Насос буде перегріватися	Встановити лінію рециркуляції кожного насоса
--	--	--	--------------------------	--

Таблиця А.4

Процедура розподілу вимог до SIL може бути представлена наступним чином:

Стадія життєвого циклу	Цільова функція	Процедура
Повне визначення області поширення	Визначення меж EUC і систем управління EUC. Визначення меж аналізу небезпек і ризиків (наприклад, техногенного, природного характеру та ін.)	Визначення меж області ризику шляхом попереднього аналізу і моделювання негативних явищ при аваріях.
Аналіз небезпек і ризиків	Визначення небезпек і небезпечних подій EUC і систем управління EUC (у всіх режимах експлуатації) для всіх досить передбачуваних обставин, включаючи умови помилок і неправильного використання. Визначення послідовностей подій, що призводять до певних небезпечним подіям. Визначення ризиків EUC, пов'язаних з певними небезпечними подіями	Проведення процедури аналізу безпеки і працездатності (HAZOP або HAZID), а також FMEA (IEC 60812) - аналіз видів наслідків і критичності відмов.
Повні вимоги безпеки	Розробка специфікації повних вимог безпеки в термінах вимог до функцій безпеки і вимог до повноти безпеки для E / E / PE систем, пов'язаних з безпекою, систем, пов'язаних з безпекою, заснованих на інших технологіях, і зовнішніх	Побудова «дерев несправностей» для всіх, найбільш значущих визначених небезпечних подій, спочатку з присвоєнням ймовірності відмови всіх засобів E / E / PE систем, рівну 1. Проведення аналізу з використанням критичних коефіцієнтів

	коштів зменшення ризику для досягнення необхідної функціональної безпеки	ентів значущості і призначення системам рівня SIL, необхідного для забезпечення прийнятного рівня безпеки для «верхніх подій». Побудова «де-ревъев подій» з урахуванням спрацювання або відмови засобів протиаварійного захисту E / E / PE систем. Проведення аналізу надійності і ефективності елементів E / E / PE систем протиаварійного захисту.
Розподіл вимог безпеки	розподіл функцій безпеки, що містяться в специфікації повних вимог безпеки (як вимог до функцій безпеки, так і вимог до повноти безпеки)	Послідовна редакція «де-ревъев» зі збільшенням рівня SIL аж до прийнятного показника ризику кінцевих подій відповідно до сортуванням по критичним коефіцієнтами значущості. Завдання значення ймовірностей відмов елементів E / E / PE систем з мінімізацією заходів щодо зниження ризику до прийнятного.

ДОДАТОК Б. Методи визначення залишкового ресурсу обладнання

Однією з найбільш важливих завдань у плануванні РВР є визначення поточного технічного стану елементів або об'єктів складної хіміко-технологічної системи, а також **залишкового ресурсу**. Причому необхідно встановлювати призначений ресурс таким чином, щоб він не перевищував залишковий ресурс елемента, але і не був занадто випереджувальним в зв'язку з необхідністю економії коштів.

Залишковий ресурс (Residual life) по ГОСТ 27.002-89 - сумарне напруження об'єкта від моменту контролю його технічного стану до переходу в граничний стан. Аналогічно вводяться поняття залишкової напруження до відмови, залишкового терміну служби і залишкового терміну зберігання.

Крім того, для об'єктів підвищеної небезпеки, для яких можливі суттєві втрати при аваріях і відмовах необхідно враховувати не технологічний відмова елемента, а рівень розвитку аварії, до якого ця відмова призводить. Це означає, що при проведенні аналізу небезпеки необхідно дати кількісні оцінки причинно-наслідкових зв'язків, що реалізується при аваріях і виробити вимоги до граничного допустимого технічного стану елемента, в тому числі і до максимально допустимої ймовірності відмови елемента. Такі вимоги є основою для прийняття рішень про досягнення граничного терміну експлуатації елемента і повинні бути формалізовані таким чином, щоб були чітко сформульовані граничні експлуатаційні показники.

Наприклад:

- граничне значення мінімальної товщини стінки судини високого тиску $9,5 \pm 0,08$ мм з урахуванням коефіцієнта варіації корозії;
- мінімальний діапазон регулювання клапана 97,2% від номінального;
- мінімальна пропускна здатність гребінки $6,5 \text{ м}^3/\text{с}$.

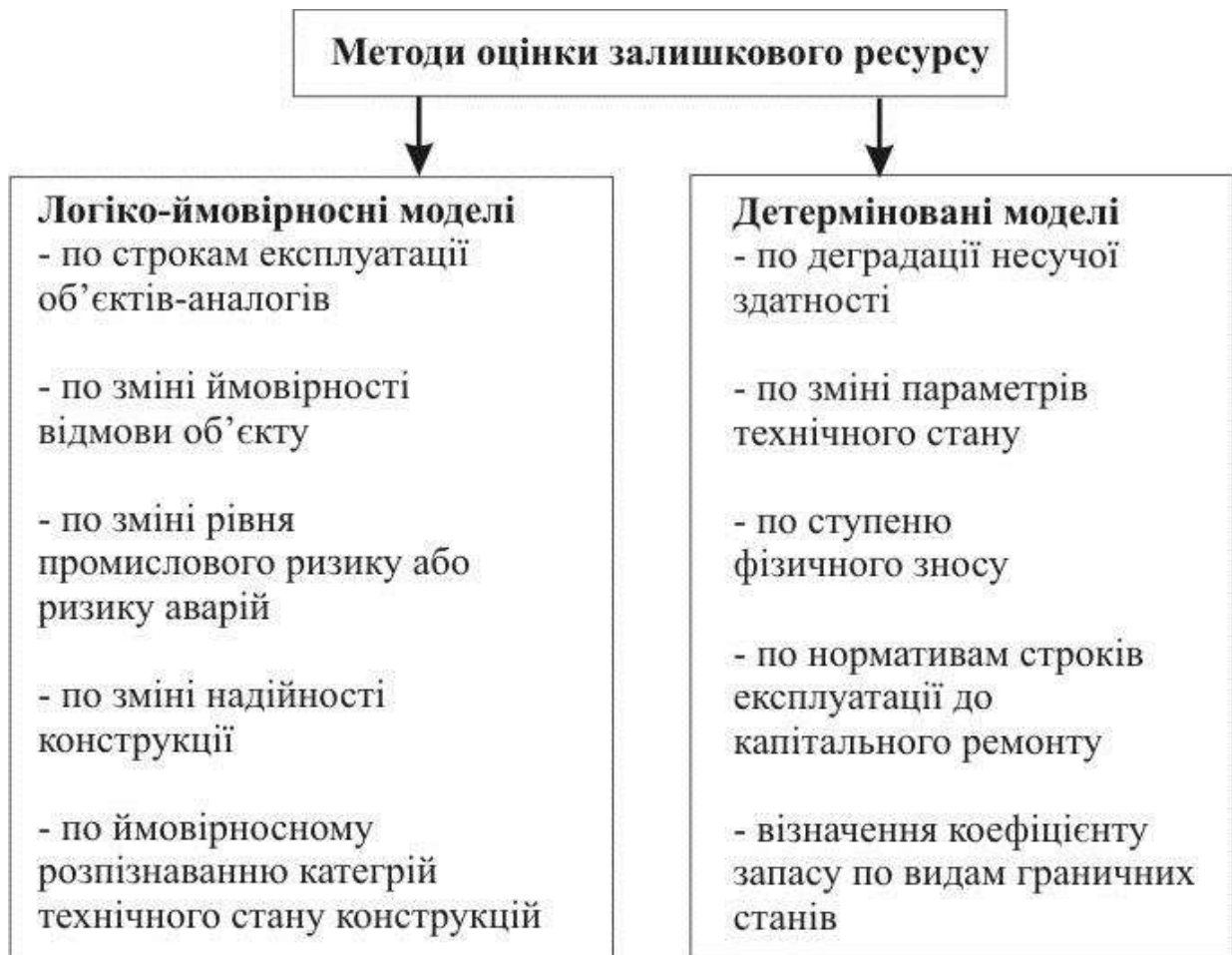


Рис. Б.1. Класифікація методів визначення залишкового ресурсу

Зокрема, для підприємств нафтопереробної та нафтохімічної промисловості особливий інтерес представляють методики, засновані на моделях деградації, старіння або корозійного зносу матеріалів і конструкцій в умовах агресивного корозійного і температурного впливу [175].

Класифікація дефектності елементів:

Рівень дефектності	Характеристика дефектів	Ваговий коеф.
I	Відсутність механічних пошкоджень, деформацій і переміщень, слабкі прояви корозійних впливів, без зниження експлуатаційних можливостей	0,1
II	Незначні дефекти, які не впливають на подальшу експлуатацію елемента, наявність механічних та корозійних пошкоджень, деформації та зниження показників міцності матеріалів в межах, регламентованих нормативно-технічною документацією	0,3

III	Небезпечні дефекти не призводять до руйнування або відмови елементів, але обмежують подальшу експлуатацію - значні механічні та корозійні пошкодження, наднормативні деформації і зниження показників міцності матеріалів, що вимагає проведення моніторингу динаміки розвитку дефектів і / або виконання коригувальних заходів (ремонт, зниження навантажень, реконструкція та т.д.).	0,6
-----	--	-----

Можливість прогнозування величини залишкового ресурсу забезпечується при одночасній наявності наступних умов [176]:

- відомі параметри, що визначають технічний стан елементів;
- відомі критерії граничного стану елементів;
- є можливість періодичного (або безперервного) контролю значень граничних технічних станів (ГТС).

Прогнозування ресурсу здійснюється за схемою (рис. Б.2). Через певні періоди експлуатації t_1, t_2, \dots і т.д. оцінюють величини контрольованого параметра - ступінь пошкодження конструкцій S_1, S_2, \dots і т.д. і екстраполюють залежність до гранично допустимої величини пошкоджень $S_{пр}$. Виходячи з розробленої системи оцінки дефектності конструкцій граничним випадком є значення $S_{пр} \approx 1$.

У припущенні того, що показники ступеня пошкодження монотонно змінюються в часі, а дисперсія показників не змінюється, для прогнозування залишкового ресурсу використовується метод, викладений у ГОСТ 23942-80 [177], де умовний середній залишковий ресурс визначають за формулою:

$$t_{осм}^{cp} = \int_0^{\infty} t_{осм} dQ[t_{осм} / Y(t_k) = Y_k]$$

де $Q[t_{осм} / Y(t_k) = Y_k]$ – умовна ймовірність відмови (умова полягає в тому, що в момент t_k значення відхилення параметра становить Y_k).

Необхідна точність оцінки забезпечується в тому випадку, якщо через трансформаційних змін параметра технічного стану до моменту контролю складає не менше половини граничного відхилення параметра Y_n і при до-

триманні умови $t_{ост} < 0,5 t_k$ – тобто для елементів, які експлуатуються досить тривалий час.

Беручи лінійний закон зміни параметрів стану, отримуємо:

$Y(t) = C_1 + C_2 t$, де C_1, C_2 – невідомі коефіцієнти;

t – час експлуатації;

$t = t_i - t_0, t \geq 0$,

$t_0 = 0$ – початкове значення часу експлуатації.

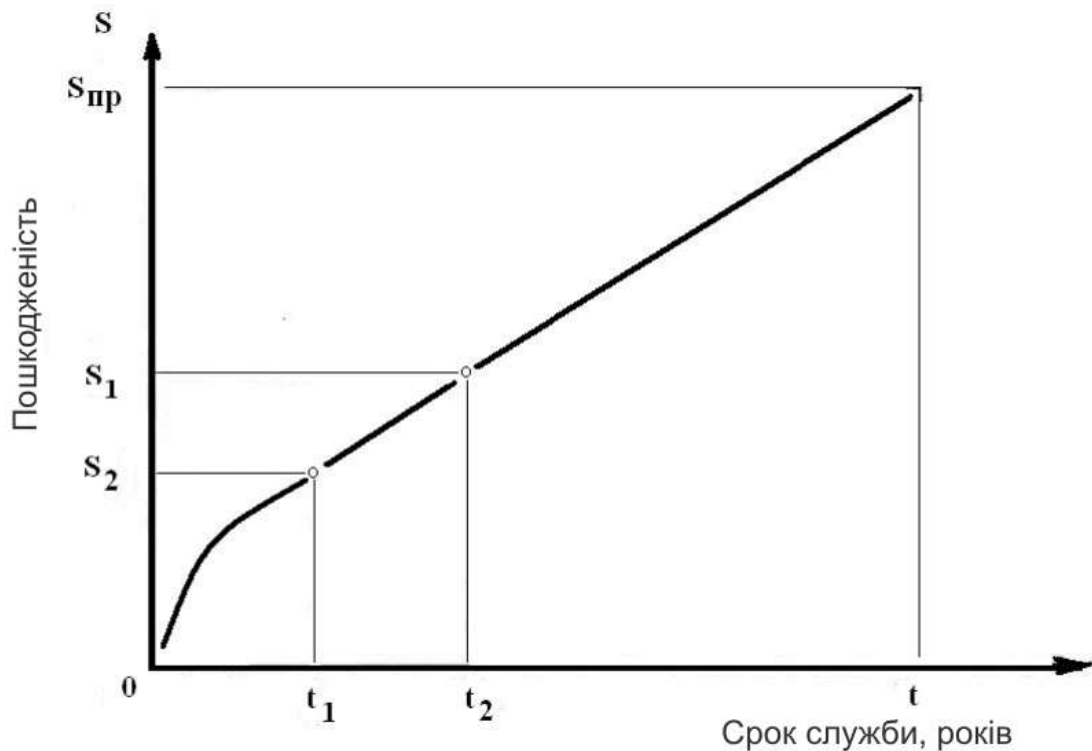


Рис. Д.2. Схема визначення залишкового ресурсу

Показник пошкодження оцінюють по вимірним значенням контрольованого параметра - дефектність: $Y_i = \max(F(t_i))$, $i=1,2, \dots, N$, де t_i – значення i -го моменту виміру: $t_0 \leq t_1 \leq \dots \leq t_N$. При лінійному законі зміни параметра прогнозування проводиться з використанням методу найменших квадратів.

Гарантовані оцінки коефіцієнтів: $C_j = C_j + K \cdot \sigma_j$ ($j=1,2$) де K – коефіцієнт, що визначається з урахуванням довірчої ймовірності γ .

Значення довірчої ймовірності і коефіцієнта K встановлюється по табл. 2 відповідно до ПБ 09-540-03 [178] для вибухопожежонебезпечних хімічних, нафтохімічних і нафтопереробних виробництв».

Будівлі та споруди в складі технологічного блоку	довірча ймовірність, γ	коефіцієнт K
1 категорія	0,99	2,326
2 категорія	0,95	1,645
3 категорія	0,90	1,282

Гарантований залишковий ресурс визначається за виразом: $T_\gamma = (Y_n - C_1) / C_2 - t_k$, де t_k – час експлуатації на момент останнього контролю.

Наведена методика дозволяє оцінити залишковий ресурс за критеріями граничного стану, в тому числі, при різних законах зміни контрольованих параметрів:

квадратичного $Y(t) = C_1 + C_2 t + C_3 t^2$;

експоненціального $Y(t) = \exp(C_1 + C_2 t)$.

Найбільш перспективним напрямком визначення залишкового ресурсу є використання фізичних уявлень про ресурсних властивості із застосуванням імовірнісних методів. Запропонована методика оцінки залишкового ресурсу реалізує цей підхід на прикладі турбокомпресорного обладнання в одиничному виконанні.

Визначення залишкового ресурсу обладнання знаходиться шляхом збору, систематизації і обробки статистичних даних про спостереження за його роботою, узагальнення результатів.

Всі роботи по оцінці залишкового ресурсу складаються з 4 етапів:

1) накопичення статистичної інформації про відмови обладнання. Достовірна інформація про відмови обладнання досягається точним урахуванням часу його роботи, моментів виникнення відмов і часу, що витрачається на їх усунення. Для отримання необхідної інформації про відмови і працездатності обладнання є спеціальні журнали спостережень і обліку несправностей або організовується дослідна експлуатація;

2) систематизація, аналіз та узагальнення отриманих статданих. За допомогою комплексу ЕОМ створюються табуляграми, що представляють собою відомості, в яких містяться відомості про відмови, сумарному часу, втрачений на усунення відмов, напрацювання обладнання до виходу з ладу. Табуляграми є основним вихідним документом для подальшого статистичного аналізу і підрахунку кількісних показників надійності обладнання;

3) вибір і обґрунтування кількісних показників для оцінки надійності. Кількісні показники: ймовірність безвідмовної роботи, частота та інтенсивність відмов, середнє напрацювання на відмову, середній термін служби, коефіцієнт технічного використання, середній час відновлення, питома трудомісткість ремонту;

4) математична обробка отриманих емпіричних даних для визначення закономірностей відмов аналізованого устаткування. Математична обробка зводиться до складання рядів розподілу, побудови емпіричної функції щільності ймовірностей, випадкової величини, обчислення параметрів емпіричного розподілу, вирівнюванню емпіричного розподілу по попередньо обраному теоретичного закону. На основі обраного закону розподілу досліджуваної випадкової величини і його параметрів визначають показники надійності обладнання.

Після чого вибирають один з методів прогнозування.

1 – Принцип стохастичності ресурсу об'єкта. Цей принцип виходить з того, що ресурс будь-якого технічного об'єкта є випадковою величиною. Так як на будь-який елемент обладнання Складною Системи (СС) діє комплекс проектних, конструктивних, технологічних і експлуатаційних факторів, більшість з яких мають випадковий характер.

2 – Принцип обґрунтування значення ресурсу обладнання з умов ризику. Вимоги до значення ресурсу обладнання повинні призначатися виходячи з умов забезпечення заданого рівня безпеки СС.

3 – Принцип збереження фізичної сутності процесів при прогнозуванні ресурсу. Складність прогнозування обумовлюється не тільки побудовою моделі процесів деградації машини в часі.

4 – Принцип адекватності математичних методів оцінки і прогнозування ресурсу статистичними даними про працездатність обладнання. Цей принцип впливає з принципу 3.

5 – Принцип прогнозування індивідуального ресурсу. На стадії проектування системи прогнозом підлягає ресурс генеральної сукупності обладнання.

6 – Принцип продовження призначеного ресурсу. Призначений ресурс встановлюється заводом виробником обладнання виходячи з певних чинників. Тому продовжити ресурс неможливо. В цьому випадку можна лише вести мову про продовження призначеного ресурсу за допомогою призначення ресурсу.

ДОДАТОК В. Приклад методики визначення шкоди при аваріях

Оцінка можливої шкоди при аваріях

Значення повного збитку (втрат) від аварії (Π_a) визначалося за такою формулою:

$$\Pi_a = \Pi_{п.п} + \Pi_{сэ} + \Pi_{н.в} + \Pi_{экол}, \quad (B.1)$$

де $\Pi_{п.п}$ - прямі втрати (збитки) організації, що експлуатує небезпечний виробничий об'єкт;

$\Pi_{сэ}$ - соціально-економічні втрати (збитки) - витрати, понесені внаслідок загибелі та травматизму людей;

$\Pi_{н.в}$ - непрямі збитки;

$\Pi_{экол}$ - екологічної шкоди (шкода, завдана об'єктам навколишнього природного середовища).

Оцінка збитку (втрат) від знищення (пошкодження) майна третіми особами, не здійснювалася, оскільки майно третіх осіб не потрапляє в зону дії небезпечних факторів.

Розрахунок можливого збитку (втрат) проводився відповідно до [187,188,189,190].

Прямі втрати організації

Значення прямих втрат від аварії ($\Pi_{п.п}$) визначалося за такою формулою:

$$\Pi_{п.п} = \Pi_{о.ф}^o (P_p) + \Pi_{т.ц}, \quad (B.2)$$

де $\Pi_{о.ф}^o$ - втрати (збитки) організації в результаті знищення (пошкодження) основних фондів за залишковою вартістю;

P_p - можлива вартість заміщення основних фондів.

$\Pi_{т.ц}$ - втрати (збитки) організації в результаті знищення (пошкодження) товарно-матеріальних цінностей (продукції, сировини і т.п.).

При визначенні величини втрат (збитків) організації в результаті знищення (пошкодження) основних фондів розглядалися втрати від пошкодження основних фондів за залишковою вартістю і за вартістю їх заміщен-

ня. До складу повного збитку від аварії включалася максимальне значення втрат (збитків) від знищення (пошкодження) основних фондів або за залишковою вартістю, або за вартістю заміщення.

Розрахунок можливого збитку (втрат) від знищення (пошкодження) основних фондів здійснювався на основі прогнозу ступеня руйнування (пошкодження) об'єктів при вибухах виходячи із залишкової вартості основних фондів. Приймалося, що повна ступінь руйнування відповідає 100% збитку, сильна - 90%, середня - 50%, слабка - 20%. При цьому отримана сума збитку збільшилась вона на коефіцієнт, що враховує знос основних фондів з моменту розрахунку до можливого моменту аварії.

Розрахунок значення можливого збитку (втрат) від знищення (пошкодження) основних фондів за залишковою ($\Pi_{o.\phi}^o$) здійснювався за формулою:

$$\Pi_{o.\phi} = K_{\text{и}} \cdot \sum_{i=1}^n O_i \cdot C_{\text{п}_i}, \quad (\text{В.3})$$

де $\Pi_{o.\phi}^o$ – можливі збитки (втрати) від знищення (пошкодження) основних фондів за залишковою вартістю.

$K_{\text{и}}$ – коефіцієнт, що враховує знос основних фондів з моменту розрахунку до можливого моменту аварії. Значення коефіцієнта приймалося рівним 0,96.

O_i – залишкова вартість об'єкта основних фондів, який може бути знищений (пошкоджений) в результаті аварії.

$C_{\text{п}_i}$ – ступінь пошкодження (руйнування) i -го об'єкта основних фондів, частки од.

n – число об'єктів основних фондів, які будуть знищені (пошкоджені) в результаті аварії.

Розрахунок можливої вартості заміщення основних фондів проводився на основі аналізу аналогів, а також даних щодо ступеня пошкодження (руйнування) об'єктів основних фондів.

Величина вартості заміщення основних фондів (P_p) визначалася за такою формулою:

$$P_p = \frac{C_{\text{ПР}} \cdot D_p}{100\%}, \quad (\text{В.4})$$

де P_p - можлива вартість заміщення основних фондів.

$C_{\text{ПР}}$ - можлива повна вартість заміщення основних фондів, що використовуються для виробництва певного продукту.

D_p - можлива частка заміщення, %.

Значення приймалося виходячи зі ступеня ушкодження (руйнування) об'єктів основних фондів.

Розрахунок можливої частки заміщення (D_p) здійснювався за формулою:

$$D_p = \frac{\sum_{i=1}^n O_i \cdot C_{\text{П}i}}{O_{\text{П}}} \cdot 100\%, \quad (\text{В.5})$$

де O_i – залишкова вартість об'єкта основних фондів, який може бути знищений (пошкоджений) в результаті аварії.

$C_{\text{П}i}$ – ступінь пошкодження (руйнування) i - го об'єкта основних фондів, частки од.

$O_{\text{П}}$ – залишкова вартість основних фондів, які використовуються для виробництва певного продукту.

n – число об'єктів основних фондів, які будуть знищені (пошкоджені) в результаті аварії.

Розрахунок значення можливих втрат (збитків) організації в результаті знищення (пошкодження) товарно - матеріальних цінностей (сировини і готової продукції) здійснювався на підставі можливих залишків перерахованого, ступеня руйнування будівель (об'єктів), середньоринкових цін товарно - матеріальних цінностей, на підставі даних щодо кількості небезпечних речовин, що беруть участь в аварії. Як джерела інформації щодо цін на товарно - матеріальні цінності використовувалися дані з матеріалів договірних робіт.

Величина можливих втрат (збитків) організації в результаті знищення (пошкодження) товарно - матеріальних цінностей ($\Pi_{\text{т.м.ц}}$) щодо кожного результату аварії визначалася за такою формулою:

$$\Pi_{\text{т.м.ц}} = \sum_{i=1}^n Q_i \cdot \text{Ц}_i, \quad (\text{В.6})$$

де Q_i – маса i - го виду товарно - матеріальних цінностей, яка може бути знищена (пошкоджена) в результаті аварії;

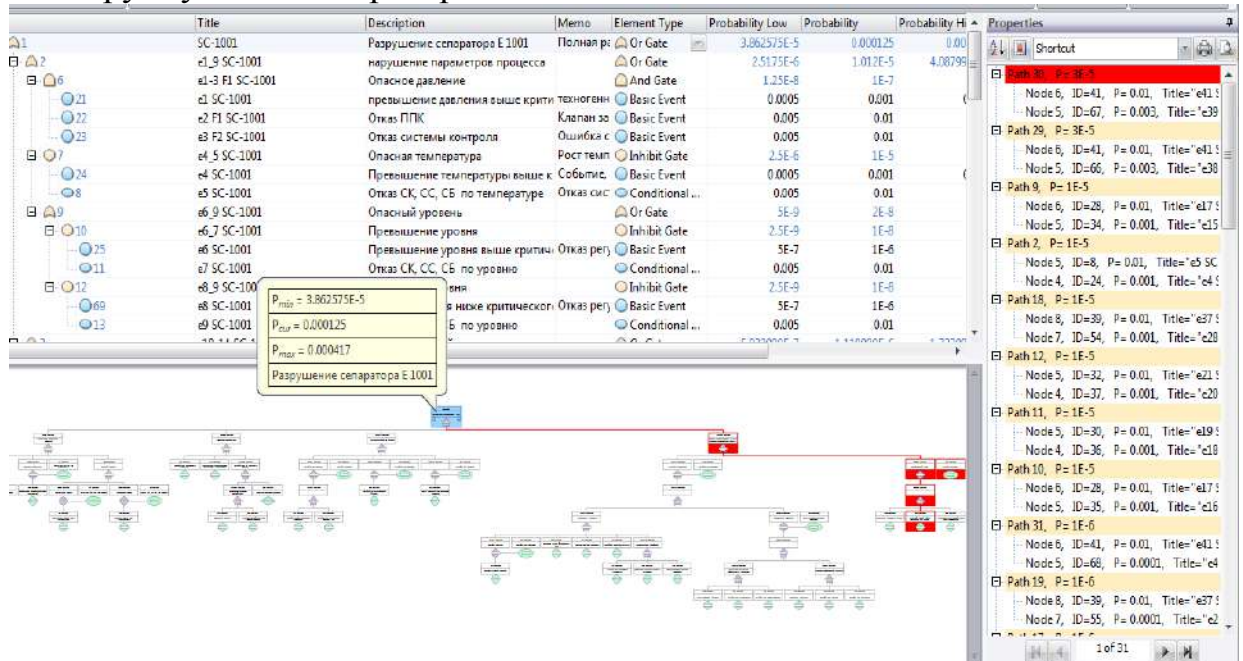
Ц_i – ціна одиниці маси відповідної товарно - матеріальних цінностей;

n – ціна одиниці масі відповідної товарно - матеріальних цінностей.

ДОДАТОК Д. Приклад аналізу дерева відмов.

Приклад методу аналізу і максимально зменшити можливість виникнення аварії з допомогою дерев відмов.

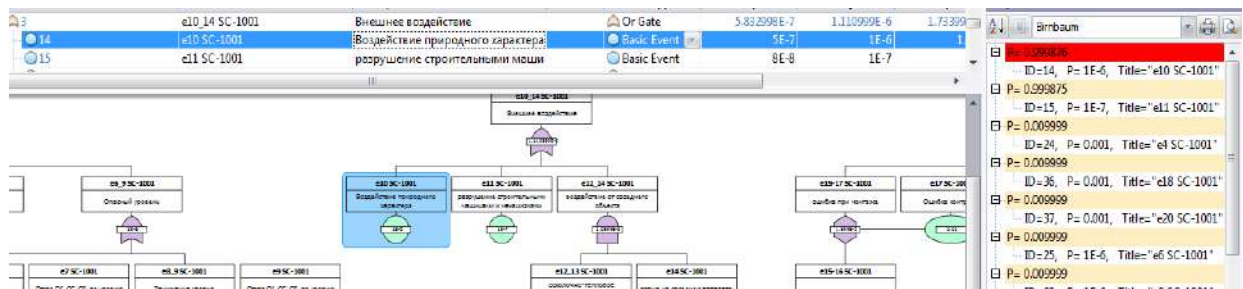
руйнування сепаратора:



Обчислена ймовірність (середня) $0,000125 = 1,25E-4$ незадовільна. Потрібно знижувати ймовірність руйнування сепаратора.

Аварійні сполучення показують гілка з максимальн.им впливом на ризик (червона гілка і верхнє поєднання в списку)

При цьому коефіцієнт «Бірнбаум» показує зовсім інший елемент впливу, що говорить про те, що використання тільки Бірнбаума для аналізу не зовсім вірно. При цьому «Фуссел-весесел» і «критичний коефіцієнт» показує однаковий елемент впливу:



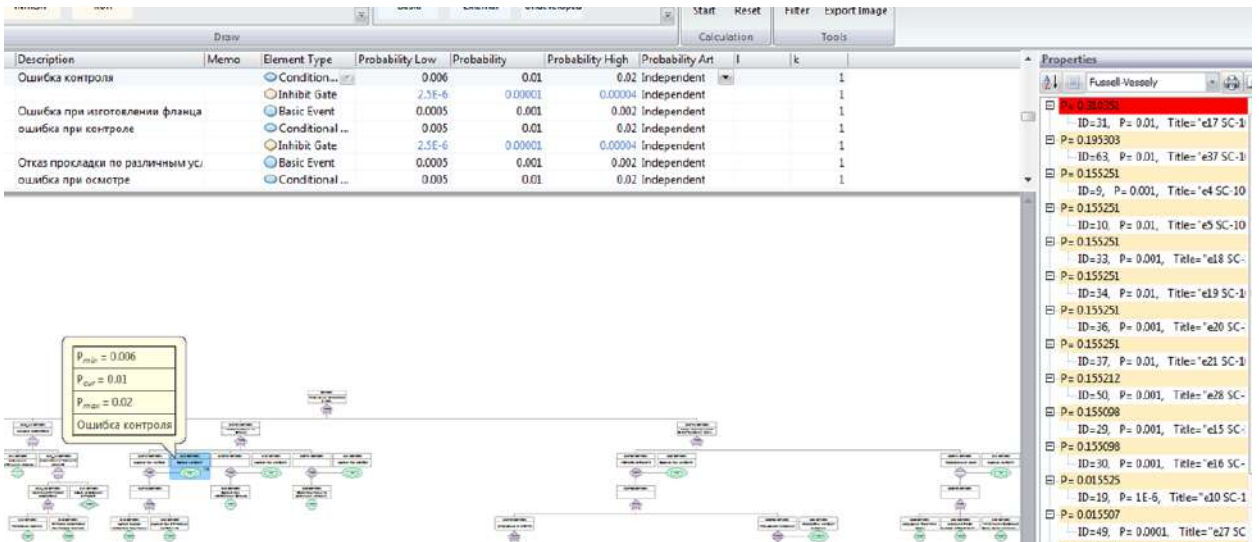
Id	Title	Description	Memo	Element Type	Probability Low	Probability	Probability High	Properties
e39 SC-1001	неверный способ выбора материала	неверный способ выбора материала		Basic Event	0.002	0.003		
e40 SC-1001	появление агрессивной среды среды	появление агрессивной среды среды		Basic Event	5E-5	0.0001	0.0001	
e41 SC-1001	ошибка контроля	ошибка контроля		Condition...	0.005	0.01	0.02	

«Змінимо» надійність елемента e41 SC-1001: вводимо подвійний контроль (1 з m: 2 з 2)

Description	Memo	Element Type	Probability Low	Probability	Probability High	Probability Art	l	k	Properties
неверный способ выбора материала		Basic Event	0.002	0.003	0.004	Independent	1	1	
появление агрессивной среды среды		Basic Event	5E-5	0.0001	0.0002	Independent	1	1	
ошибка контроля		Condition...	0.005	0.01	0.02	L from K	2	2	

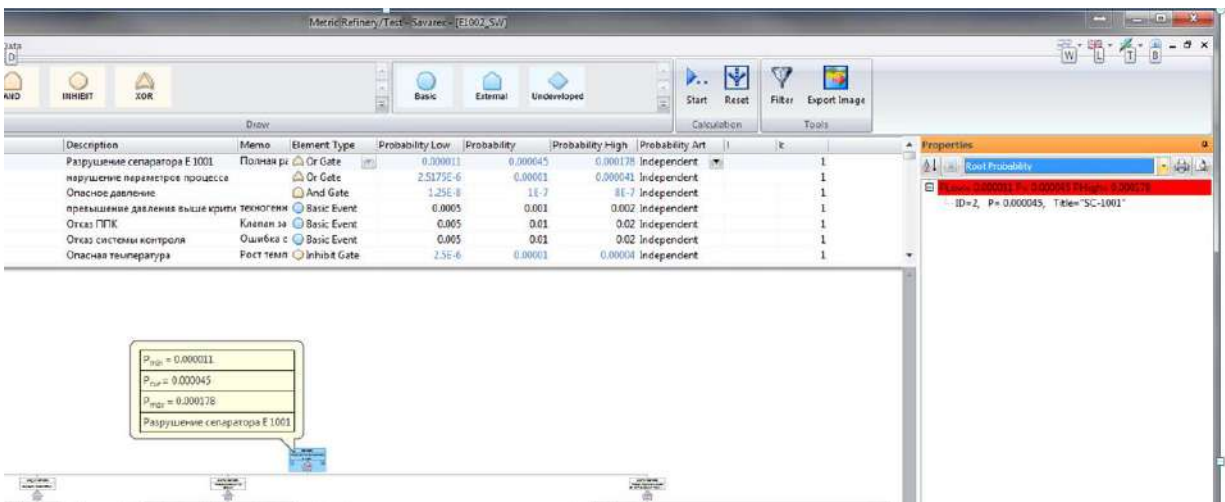
В результаті верхня ймовірність змінюється (і відразу змінюється аварійного сполучення, с максимальним вплив на верхнє подія):

Ймовірність $6,4E-5$ ще не прийнятна, потрібно опускати до порядку $E-6$. Робимо ту ж операцію, обчислюємо «Фуссел-Вессель» (так як критично і раніше впливає попередній елемент, щоб він не впливав, ми повинні були просто встановити одиничний контроль, але з ймовірністю як подвійний):



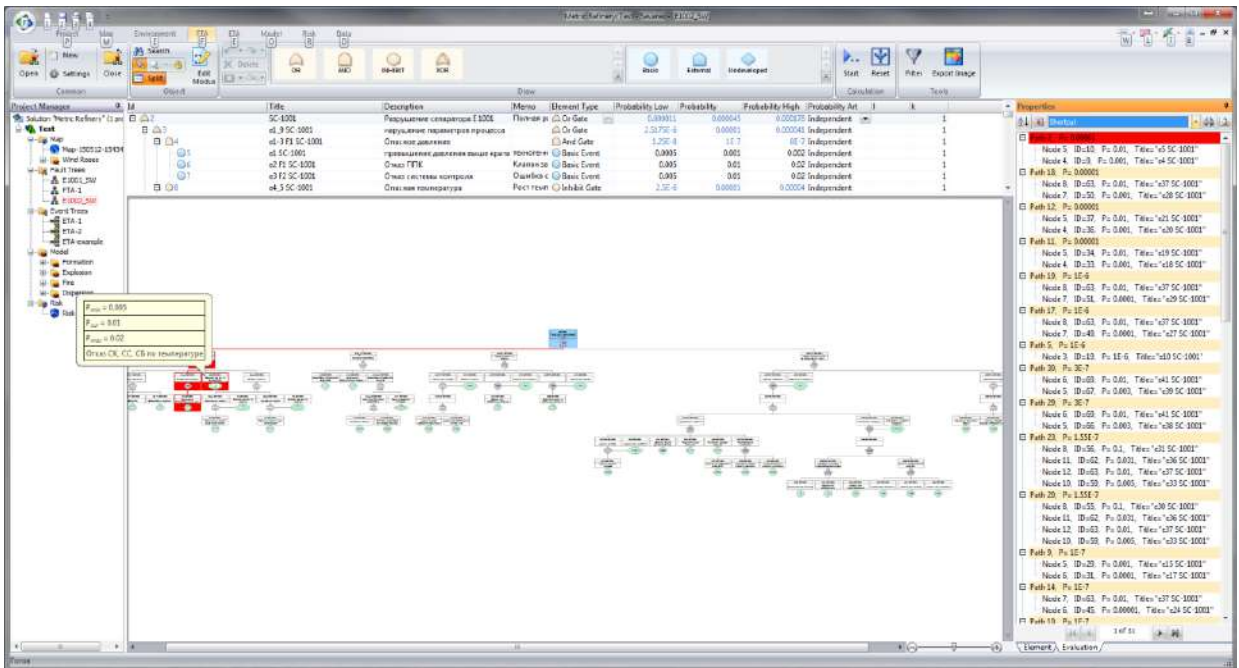
тепер збільшимо надійність контролю (відмова двох з двох = $1E-4$ для простої помилки в 0,01):

Отримуємо розрахунок верхнього події:

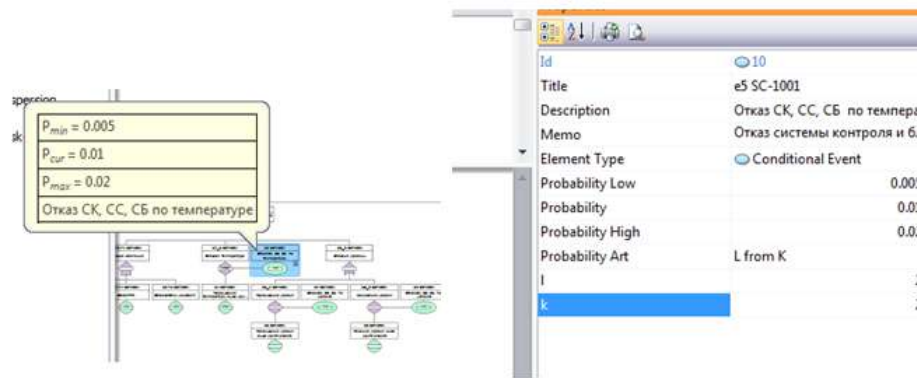


0,000045 - все ще багато, продовжуємо:

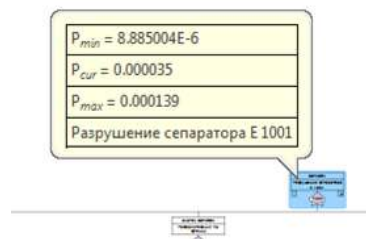
Отримуємо нову гілку аварійного поєднання:



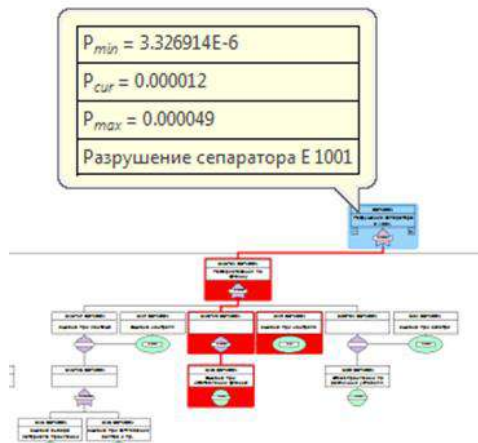
Цього разу можна підвищити надійність дублюванням елемента СК, СС, СБ (системи контролю та блокування)



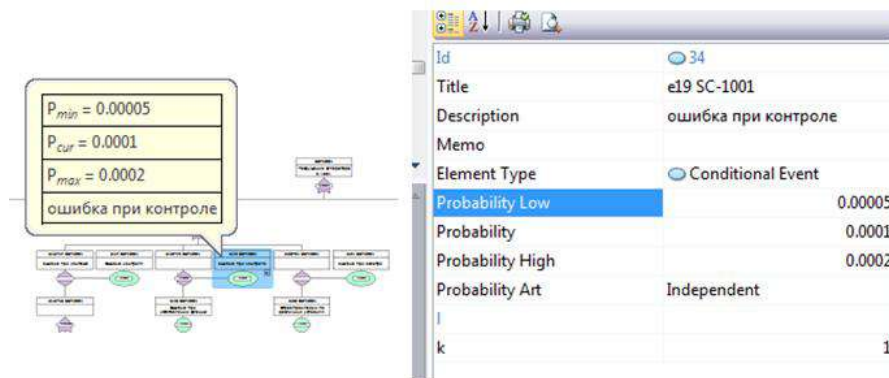
отримуємо ймовірність:



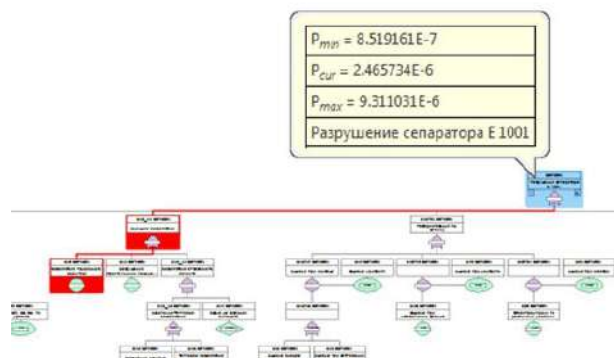
0,000035 - все ще багато, продовжуємо:



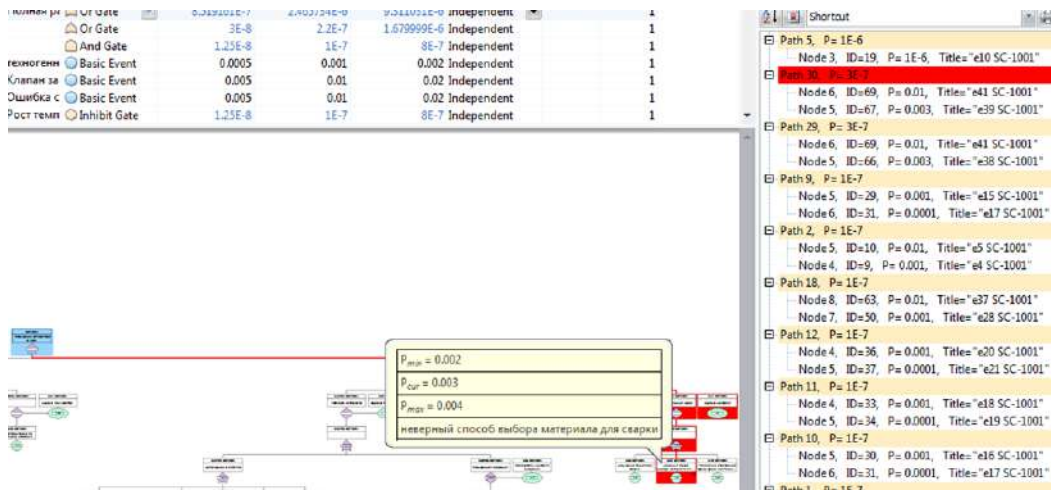
Імовірність все ще неприйнятна, тому впливаємо на гілку контролю за виготовленням фланця:



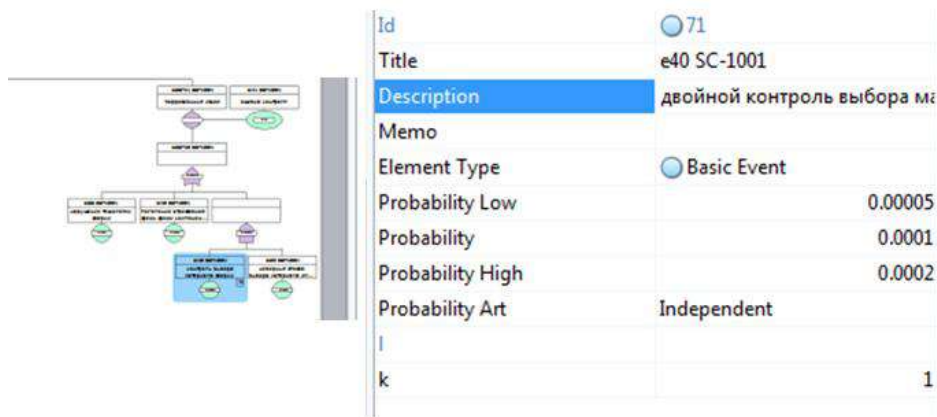
отримаємо:



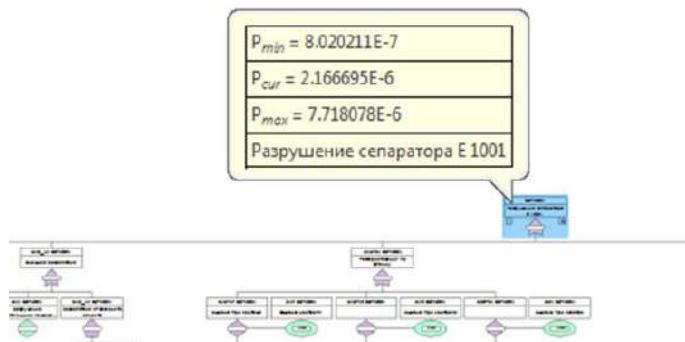
Все ще велика ймовірність, але наступна гілка - природне вплив. На нього ми впливати не можемо, тому йдемо на наступне аварійного сполучення:



Введемо ще подвійну систему контролю за зварюванням:



У підсумку ми добилися необхідного рівня ймовірності верхнього події 2.1E-6 - цілком прийнятний результат з урахуванням невизначеності:



Ми автоматично зробили мінімальне число операцій на зниження ризику, так як по черзі впливали на найбільш значущі гілки. При цьому лише одна міра (дублювання системи контролю та блокування) була технічної, інші - організаційними. Витрати на це - мінімальні.

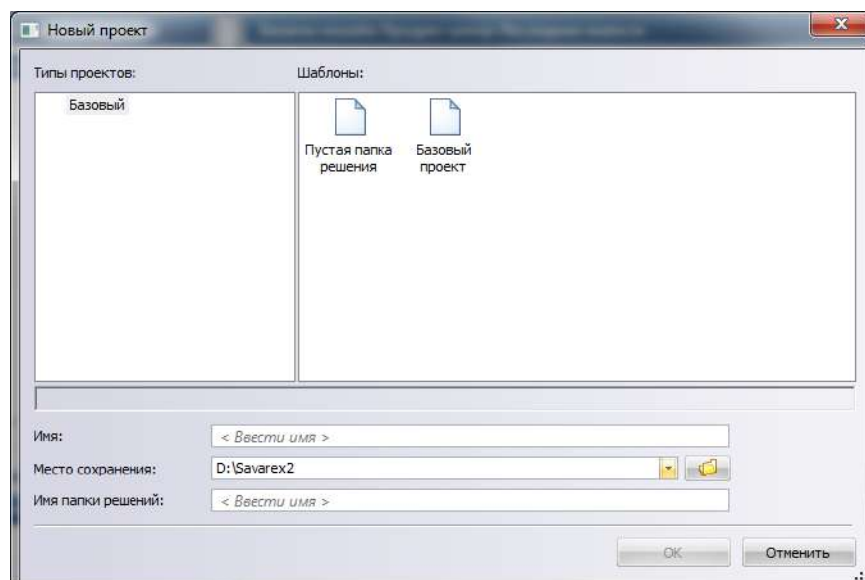
ДОДАТОК Е. Приклад обчислень вхідних характеристик аварійних процесів.

У додатку демонструється робота модулів програмного комплексу, призначених для оцінок характеристик процесів формування небезпечного середовища.

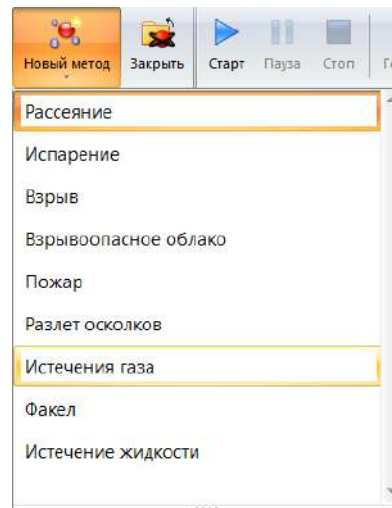
Витікання газової фази.

Приклад моделювання закінчення газової фази з ємності наводиться для сепаратора пропанової лінії нафтопереробки, об'ємом 20 м³ при тиску всередині ємності 10 атм (1,01325E + 6 Па) при температурі навколишнього середовища 20 ° С, в результаті розгерметизації зовнішнього фланцевого з'єднання круглої форми трубопроводу, діаметром 50 мм з урахуванням надходження від зовнішніх пристроїв під початковим тиском ємності по входу в ємність діаметром 30 мм. Час перекриття джерела підживлення протягом 100 секунд з моменту розгерметизації.

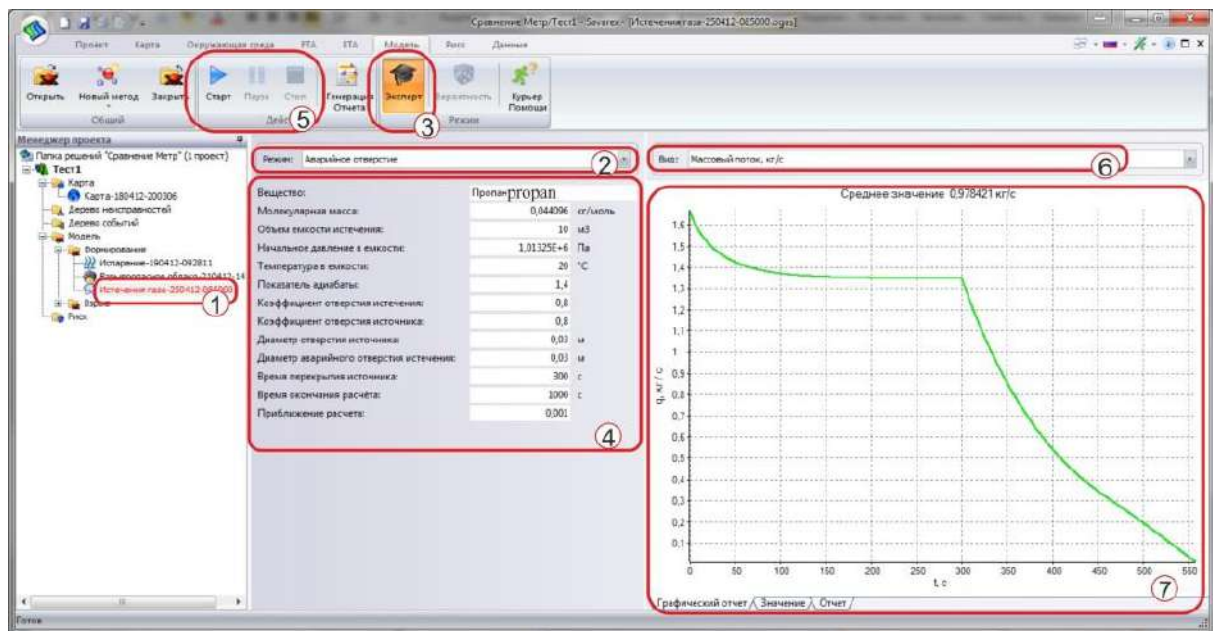
1. Створення нового дослідження (Рішення) і проекту (Базовий проект), якщо проект не був створений раніше.



2. Вибирається модель дослідження

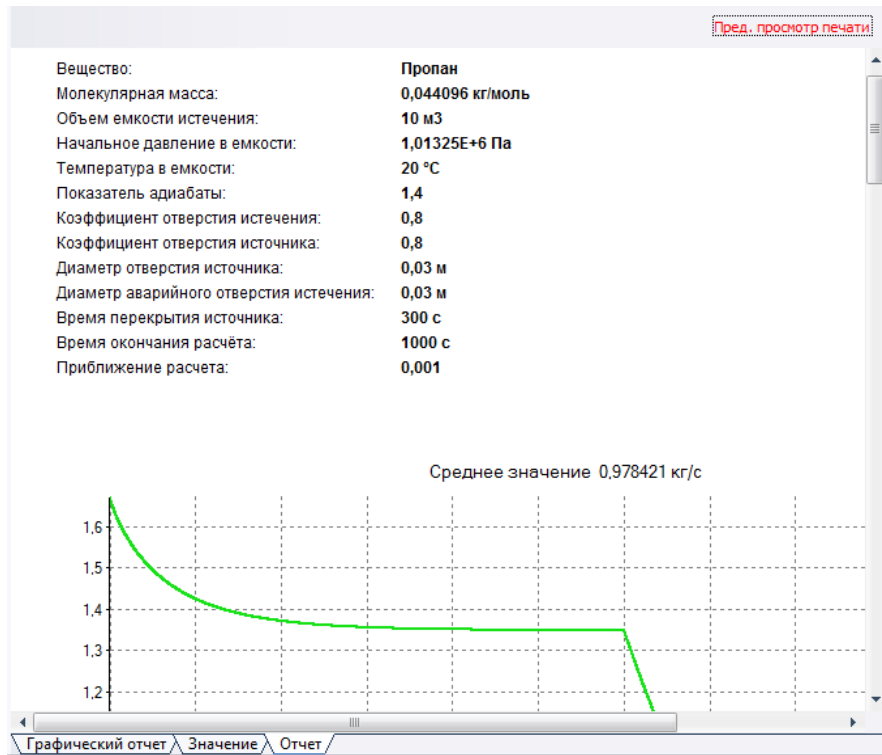


При цьому автоматично створюється запис (1) розрахунку, що належить вибраним проектом. Ім'я запису можуть бути внесені зміни користувачем.



Далі вибирається вид моделі (2 - в даному випадку «Opening» - витікання через аварійне отвір). За допомогою опції «Expert» (3) можна розширити функції вхідних даних. Дані для розрахунку вносяться або вибираються користувачем (4), після чого за допомогою групи управління (5) проводиться обчислення, результати якого приставлені графічно (7), які обираються зі списку графіків (6). Закладки «Value» і «Report» містять відповідно вхідні дані для розрахунку і повний текстовий звіт з графіками динамічних характеристик закінчення. За допомогою «Generate Report» можна створити

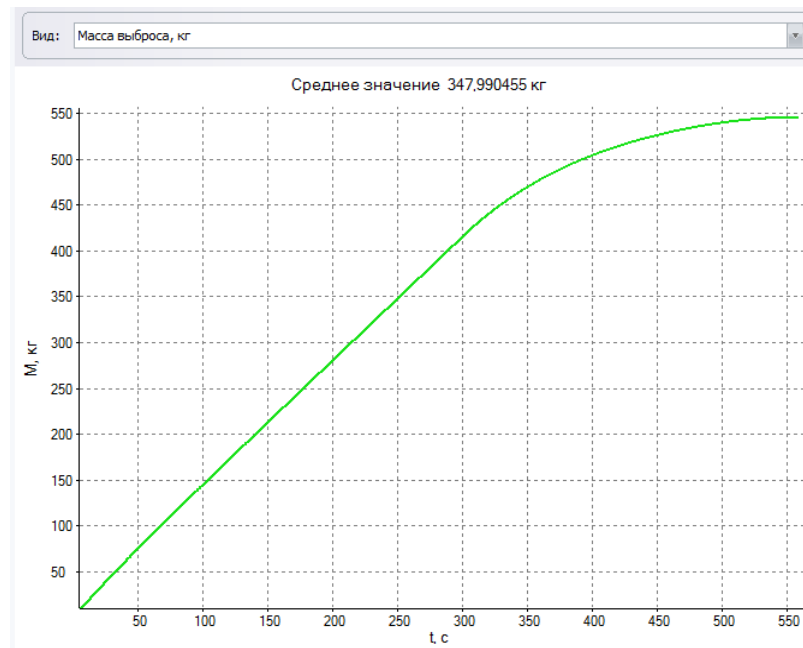
файл html формату зі звітом, який можна відкрити і редагувати засобами Microsoft Word.



За наведеним прикладом виходять такі результати:

Середня витрата з ємності через аварійне отвір відповідає 0,978 кг / с. Повний витікання газової фази настає через 557 секунди з урахуванням того, що підживлення з суміжного обладнання перекрита через 100 секунд після початку закінчення. Час розрахунку припиняється або при досягненні «Час закінчення розрахунку», або в той момент, коли тиск всередині ємності буде відрізнятися від атмосферного не більше ніж на величину «Наближення розрахунку».

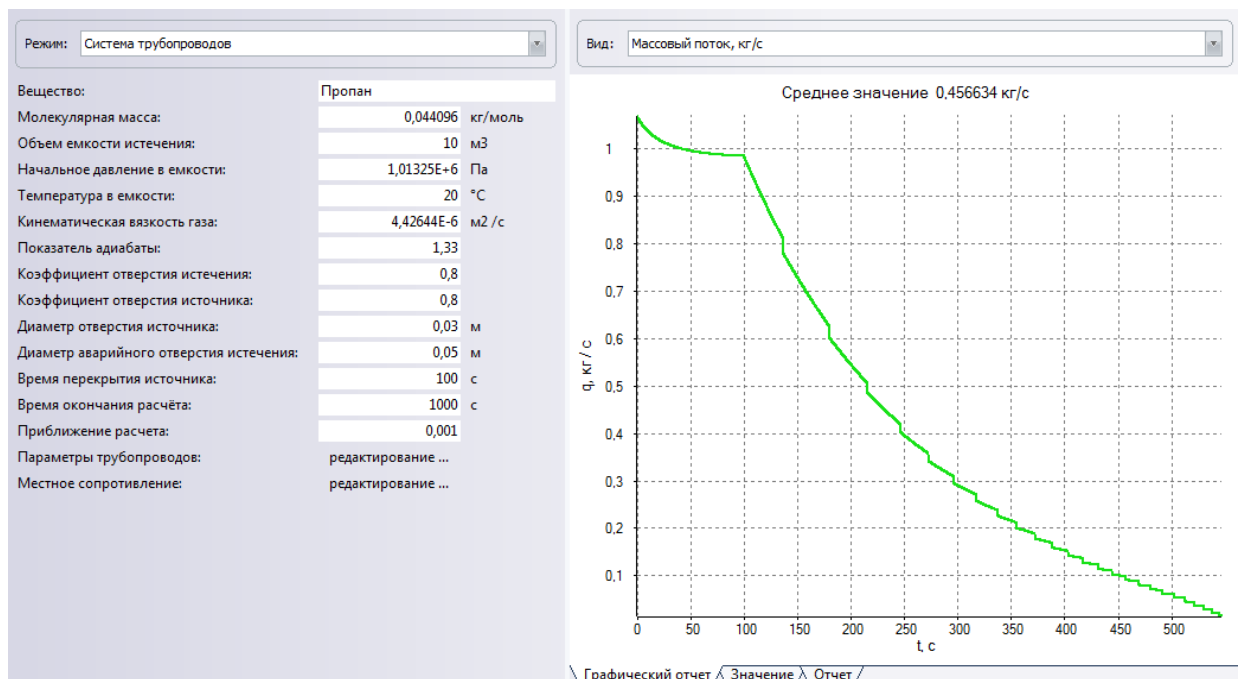
Загальна кількість газової фази, яке надійшло в атмосферу за час закінчення:



близько 550 кг пропану.

Крім виділення з досліджуваної ємності при розгерметизації фланцевого з'єднання буде надходження газової фази зворотним потоком з обладнання, розташованого після сепаратора. Наведемо приклад розрахунку виділення з суміжного обладнання за моделлю закінчення через набір місцевих і гідравлічних опорів.

Задаємо вхідні дані:



З урахуванням того, що система опорів складається з трьох трубопроводів різної довжини і діаметру, а також шорсткості:

Длина	Диаметр	Шероховатость
20 м	0,05 м	0,007 м
50 м	0,1 м	0,005 м
100 м	0,3 м	0,002 м

Місцеві опору наведені для засувки кратності 0,75, крана звичайного і раптового розширення трубопроводу відповідно:

Коефф. местного с...
0,2
2,5
1

Розрахунок показує, що час повного закінчення від суміжного обладнання по зворотному потоку з урахуванням перекриття джерел через 100 секунд після початку закінчення становить близько 546 секунд з середньою витратою близько 0,457 кг / с. Загальна маса надходження газу в атмосферу з суміжного обладнання складе при цьому близько 249 кг.

Висновок: середня надходження в атмосферу можна прийняти з витратою $0,978 + 0,457 = 1,435$ кг / с протягом близько 550 секунд. Це консервативна оцінка масштабу викиду.

ДОДАТОК Ж. Представлення програмного комплексу інформаційної технології визначення техногенного ризику.

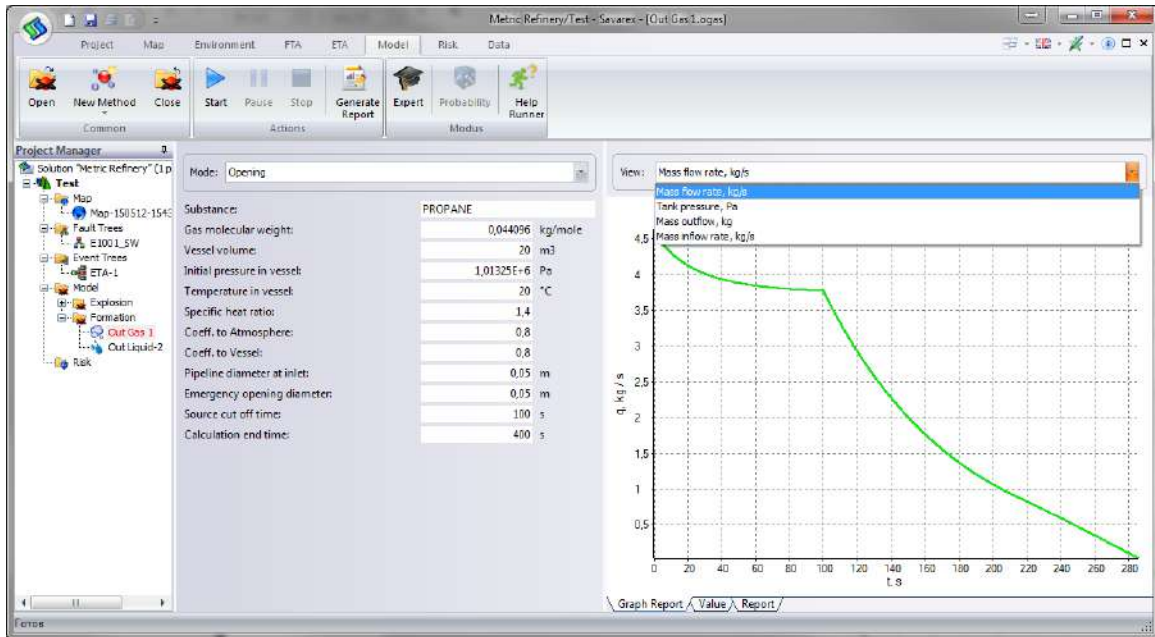
У додатку демонструється робота модулів програмного комплексу, призначених для оцінок характеристик процесів формування, розвитку і реалізації аварійних процесів ОПН.

Галузь застосування:

- розробка звіту промислової безпеки (декларація промислової безпеки);
- визначення масштабів аварійних процесів, зон дії уражаючих факторів, наслідків аварійних процесів;
- планування облаштування територій, прилеглих до об'єктів підвищеної небезпеки;
- оцінка ймовірності (частоти) настання негативних процесів на основі даних реальної або проектованої технології, надійності устаткування, що експлуатується, з урахуванням людських і природних факторів, ефективності і надійності засобів захисту;
- обслуговування управління ризиком на всіх стадіях життєвого циклу (передпроектна підготовка, проектування, впровадження, експлуатація, консервація та виведення з експлуатації);
- отримання основних показників ризику, можливих і очікуваних наслідків, проведення актуарних розрахунків, PML, оптимізація процесу прийняття рішень щодо забезпечення прийняттого рівня безпеки;
- виконання основних видів аналізу HAZOP, HAZID, SIL та інші;
- розробка планів ліквідації аварійних ситуацій;
- підтримка прийняття рішень в області безпечного ведення технологічних процесів;
- проведення експертизи аварій;
- моніторинг ризику.

Модулі фізичних процесів.

Витікання газової фази з обладнання, що знаходиться під тиском представлено моделлю закінчення через аварійне отвір:



... або систему місцевих та гідравлічних опорів:

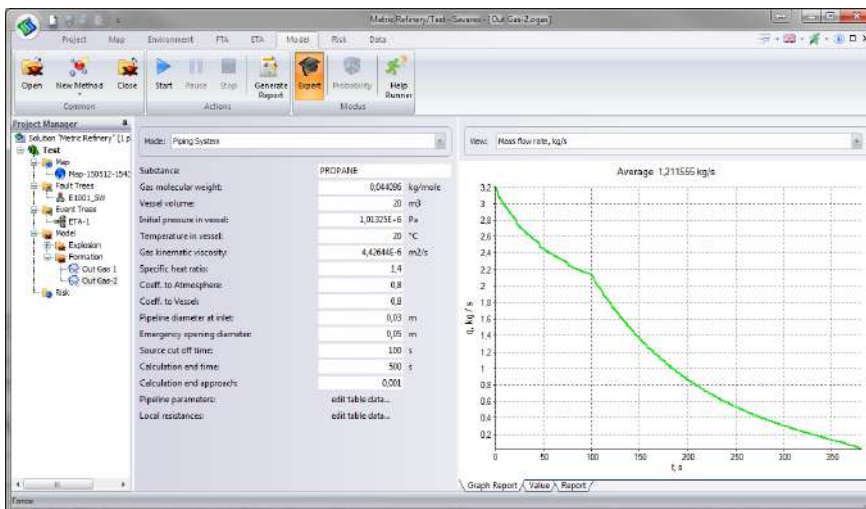
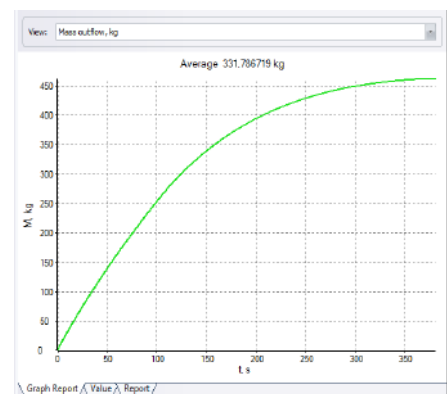


Table Editor

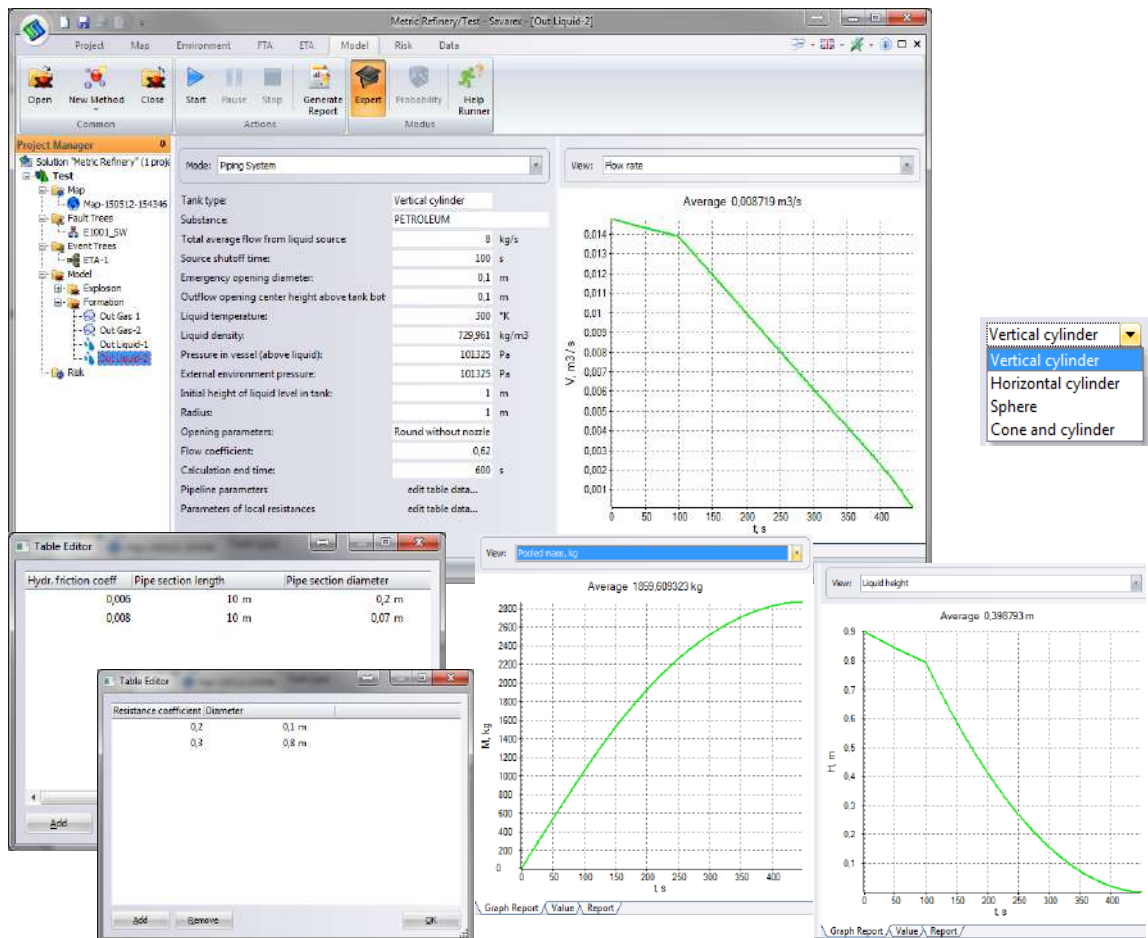
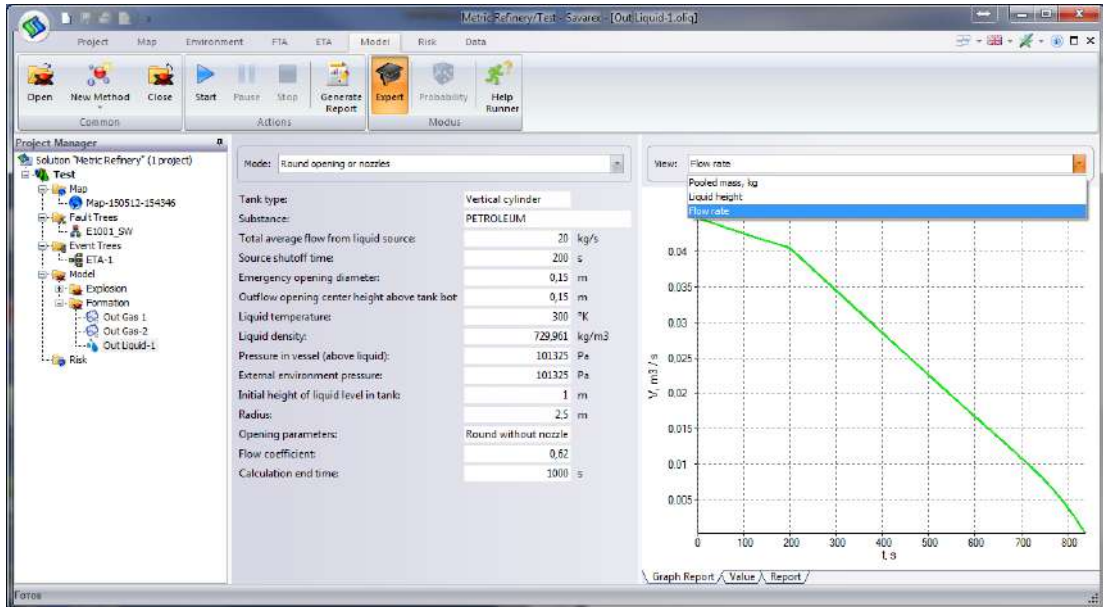
Length	Diameter	Roughness
10 m	0,1 m	0,0005 m
10 m	0,5 m	0,0005 m
10 m	0,22 m	0,0003 m

Local resistance coeff.

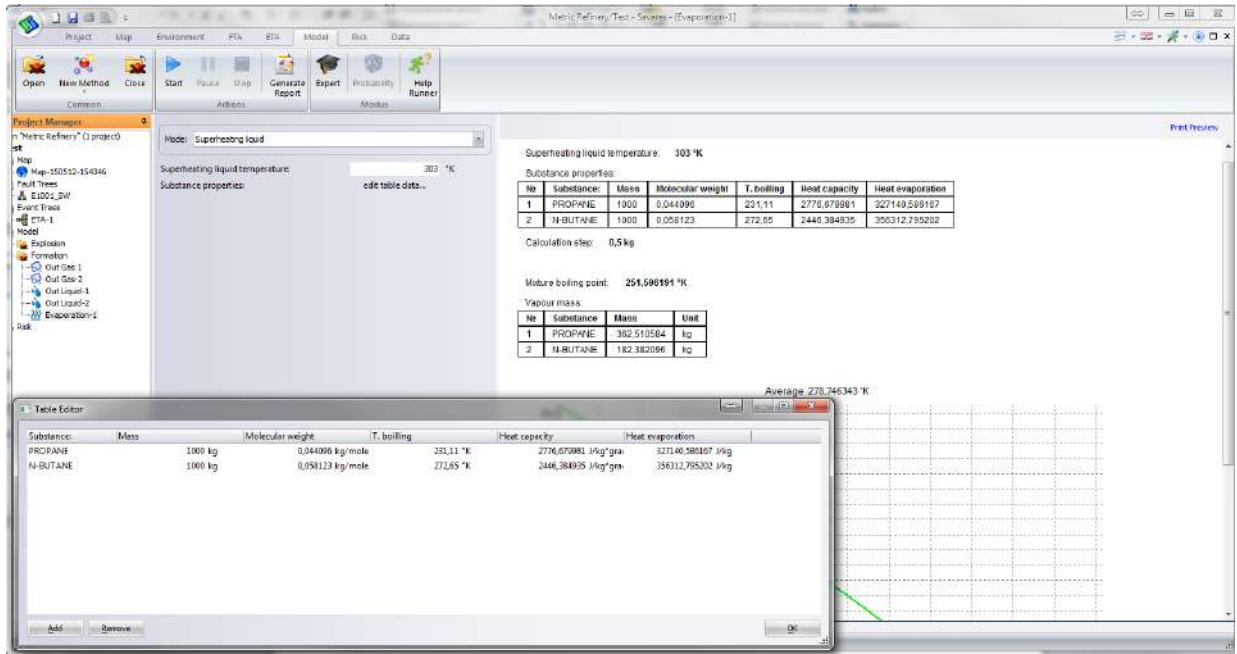
0,1
1
1



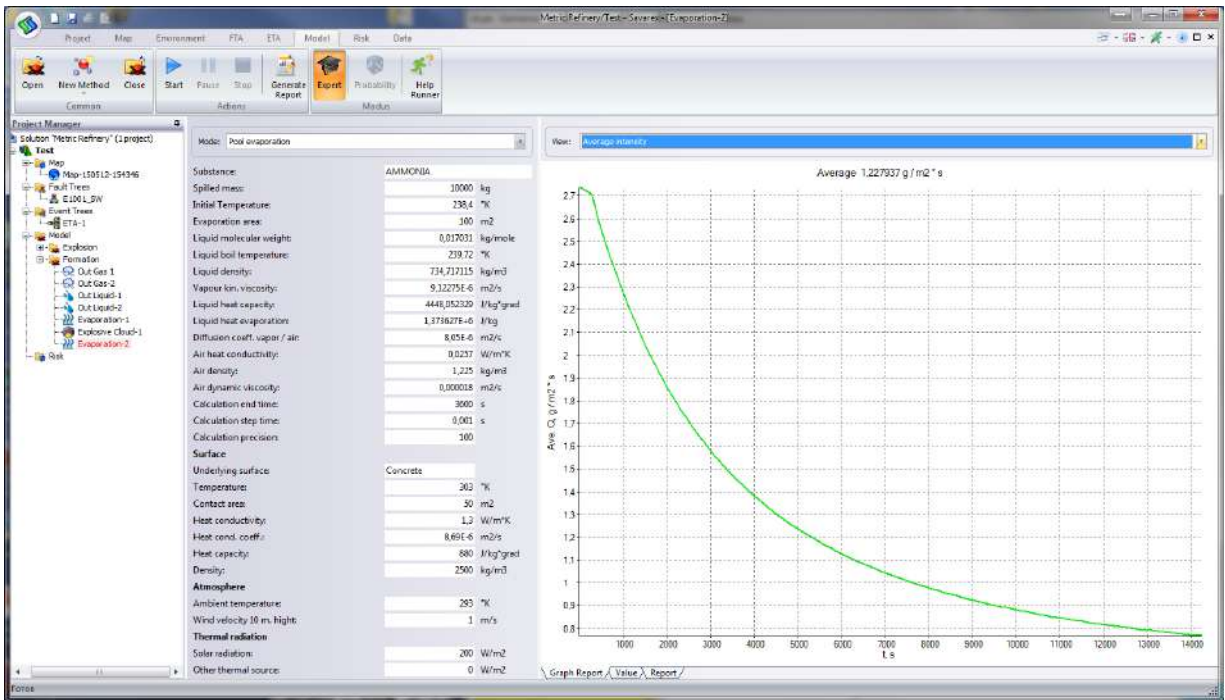
Витікання рідкої фази з обладнання, що знаходиться під тиском або містить рідину, представлено моделлю закінчення через аварійне отвір (з урахуванням геометрії ємності) або систему місцевих та гідравлічних опорів для типових видів ємностей:



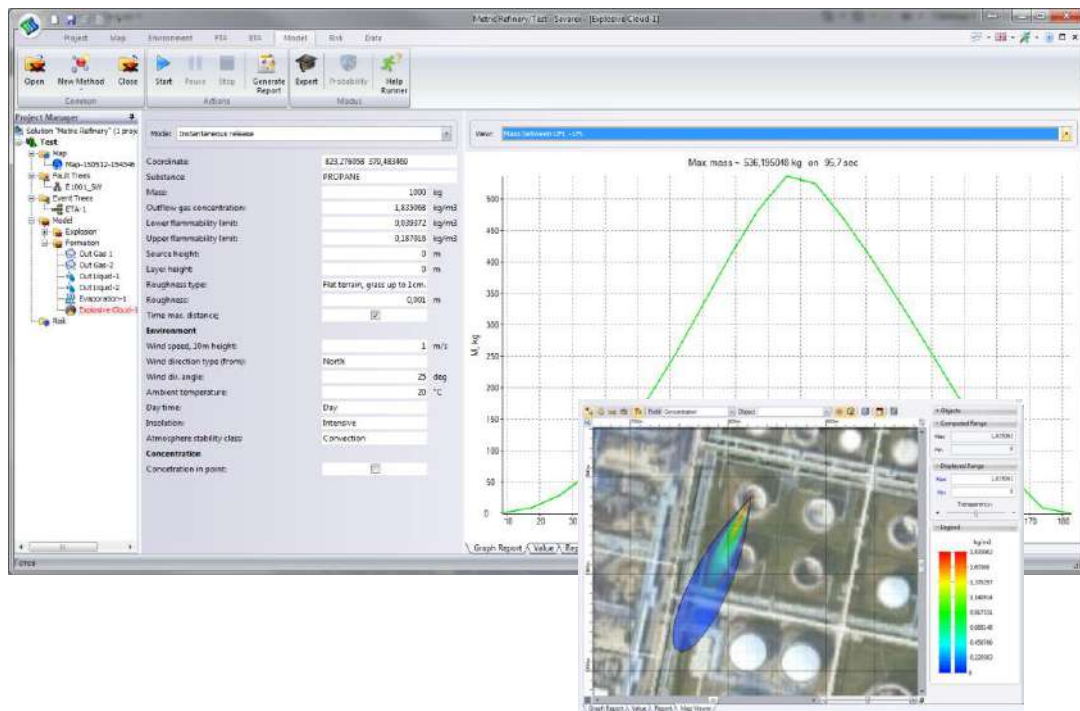
Випаровування перегрітої рідини (суміші рідин або зріджених газів) представлено неізотермічної моделлю бурхливого кипіння при розгерметизації до атмосферного тиску. При цьому визначається як частинний вихід парів, так і температура залишилася рідкої фази з урахуванням законів Рауля для багатокомпонентної суміші.



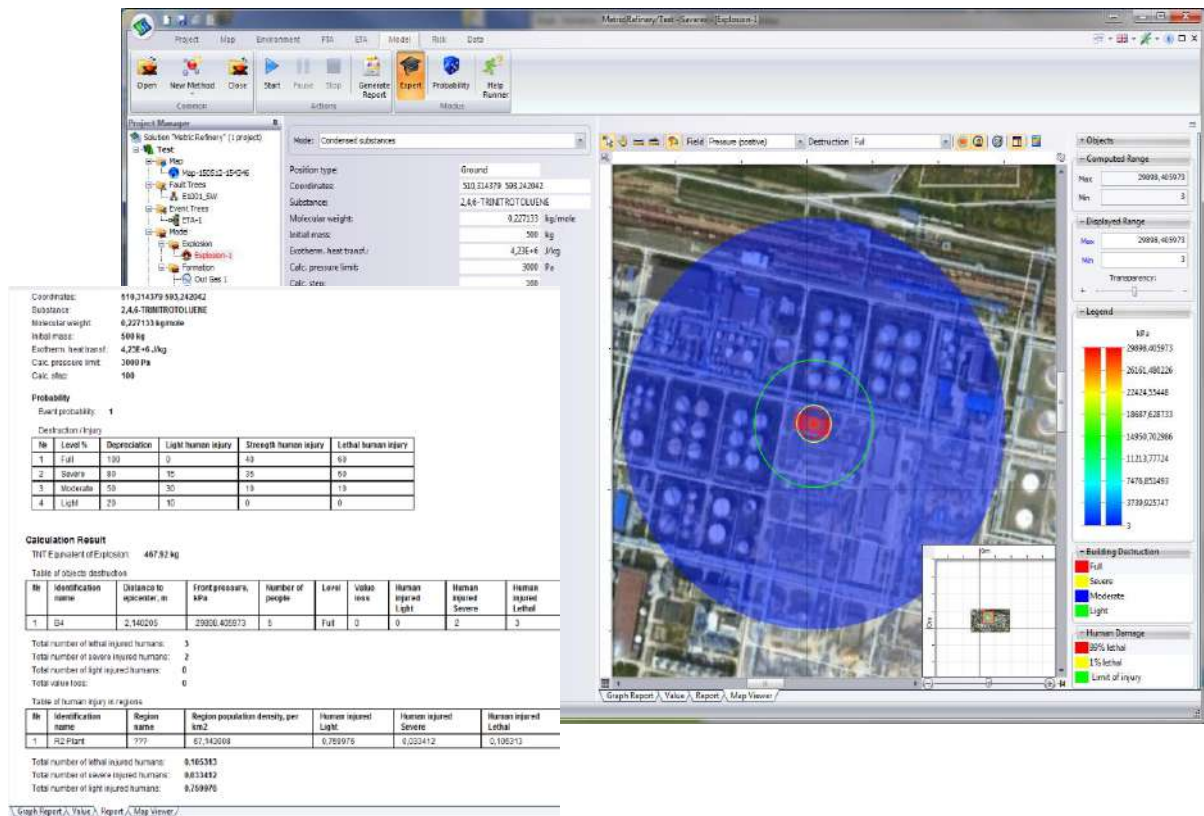
Випаровування некиплячої рідини представлено нестационарної моделлю на основі закону збереження енергії з урахуванням теплообміну потоки рідини з підстильної поверхнею, атмосферою і зовнішніми джерелами теплового випромінювання. Дозволяє визначити динамічні характеристики інтенсивності випаровування, теплові потоки, температуру рідини і інші характеристики:



При викиді горючих газів в атмосферу домішка розсіюється і змішується з повітрям, утворюючи суміш, концентрація пального в якій знаходиться між межами поширення полум'я і може брати участь в горінні і вибуху. Динаміка формування такої суміші моделюється на основі ганусової моделі розсіювання в атмосфері. Можна визначити зміна маси домішки між межами поширення полум'я, поле концентрацій, зони загазованості, характерні часи процесу.

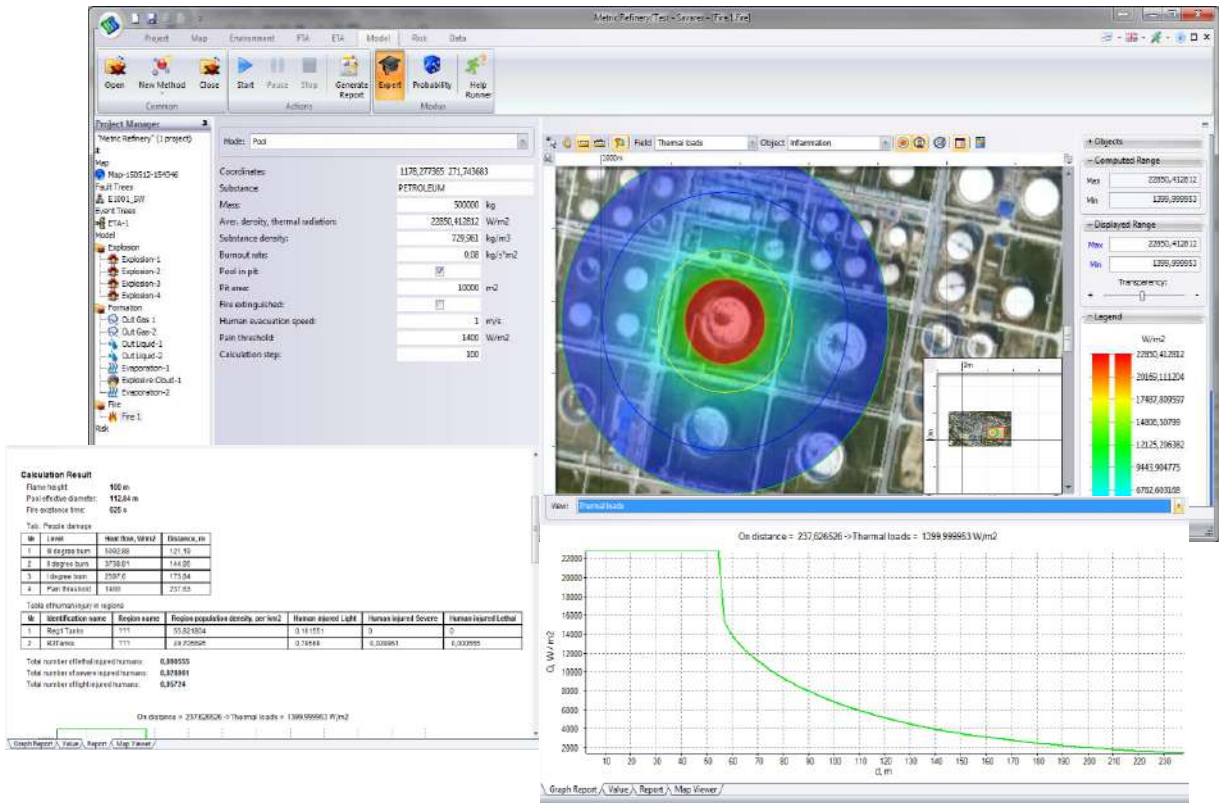


Моделювання вибухів дозволяє визначити основні уражаючі фактори ударних хвиль (надлишковий тиск і імпульс хвилі стиснення); щабель руйнування будівель, устаткування, інших об'єктів; ураження людей в результаті ударно-хвильової дії у відкритому просторі. При цьому формуються поля відповідних параметрів в метричному просторі і текстовий звіт, що містить всю інформацію про вибух:

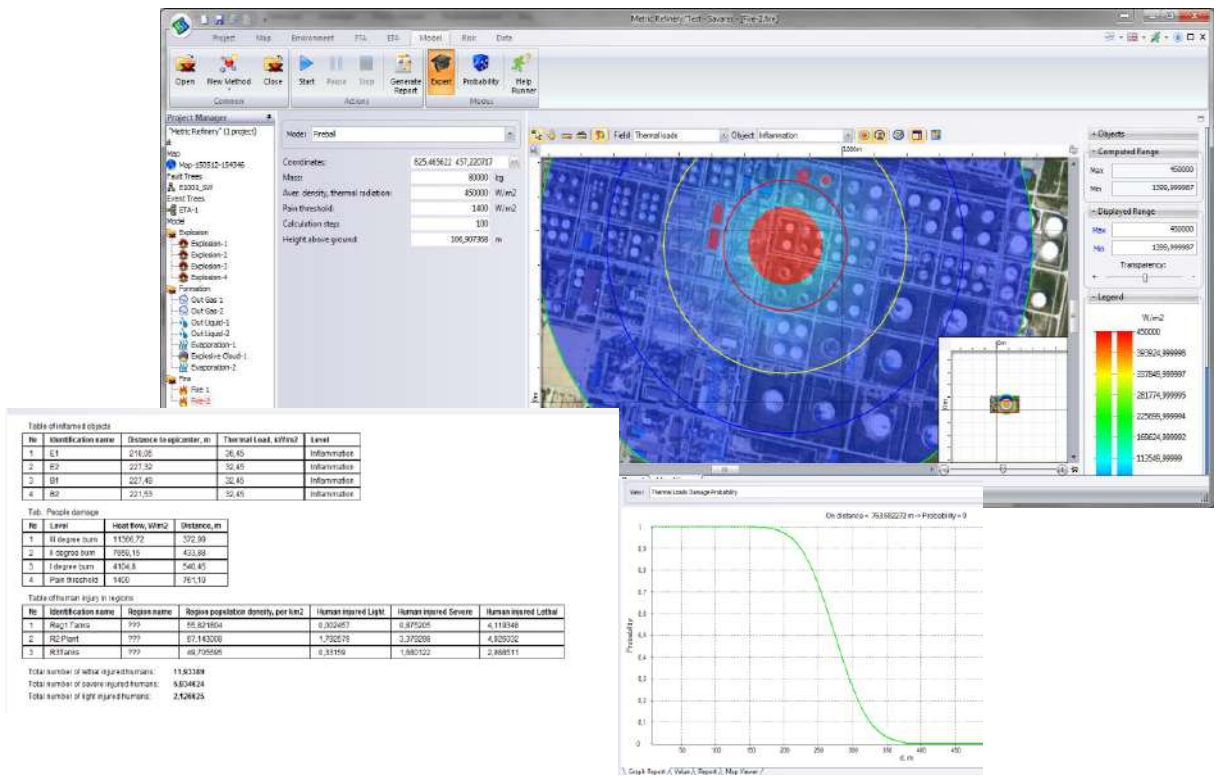


Також модулюються вибухи парогазових сумішей в атмосфері різними методами (детонація вуглеводневих палив; мультіенергетичний метод з урахуванням швидкості вибухового перетворення).

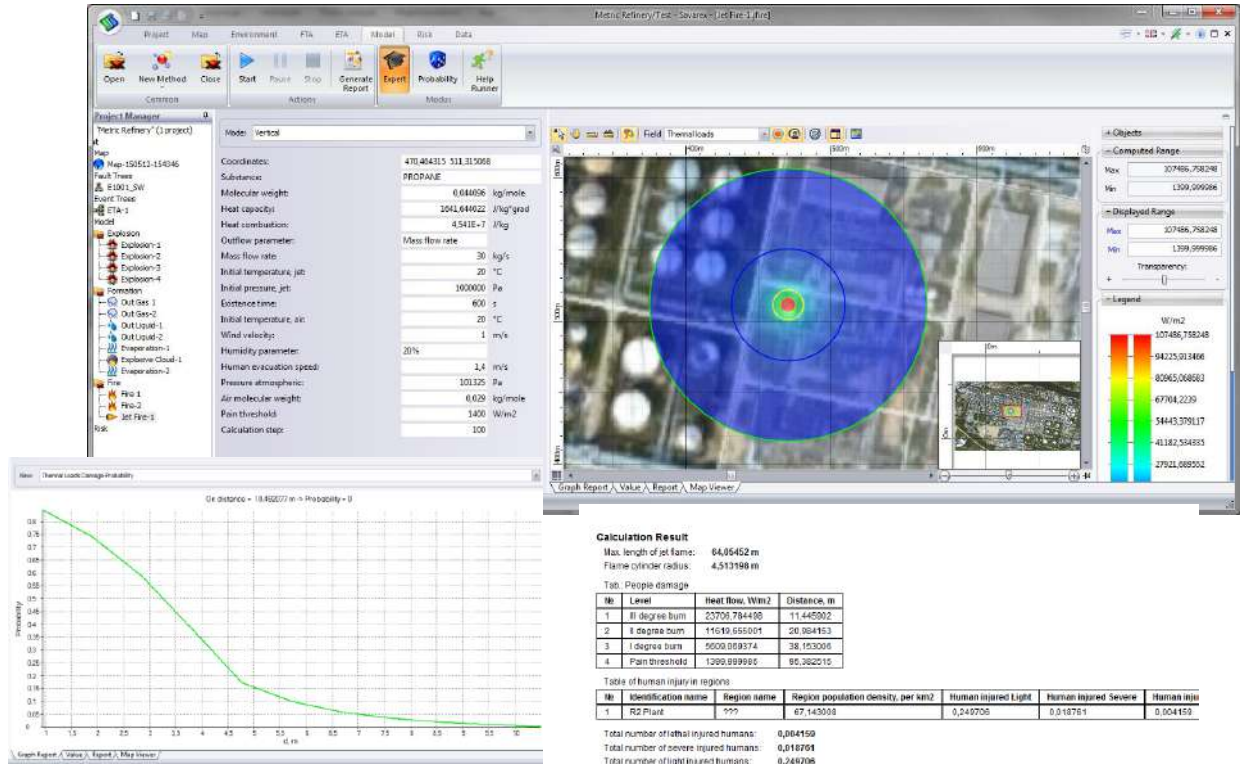
Моделювання пожеж дозволяє отримати характерні розміри пламен, часи їх існування, інтенсивності теплового випромінювання на різних відстанях від фронту полум'я, ймовірність отримання опіку або смертельного ураження людей, що знаходяться в зоні прямої експозиції з урахуванням можливості переміщення людей в безпечні зони, можливість загоряння горючих матеріалів в зоні дії підвищеного теплового випромінювання. На малюнках представлені показники пожежі протоки бензину.



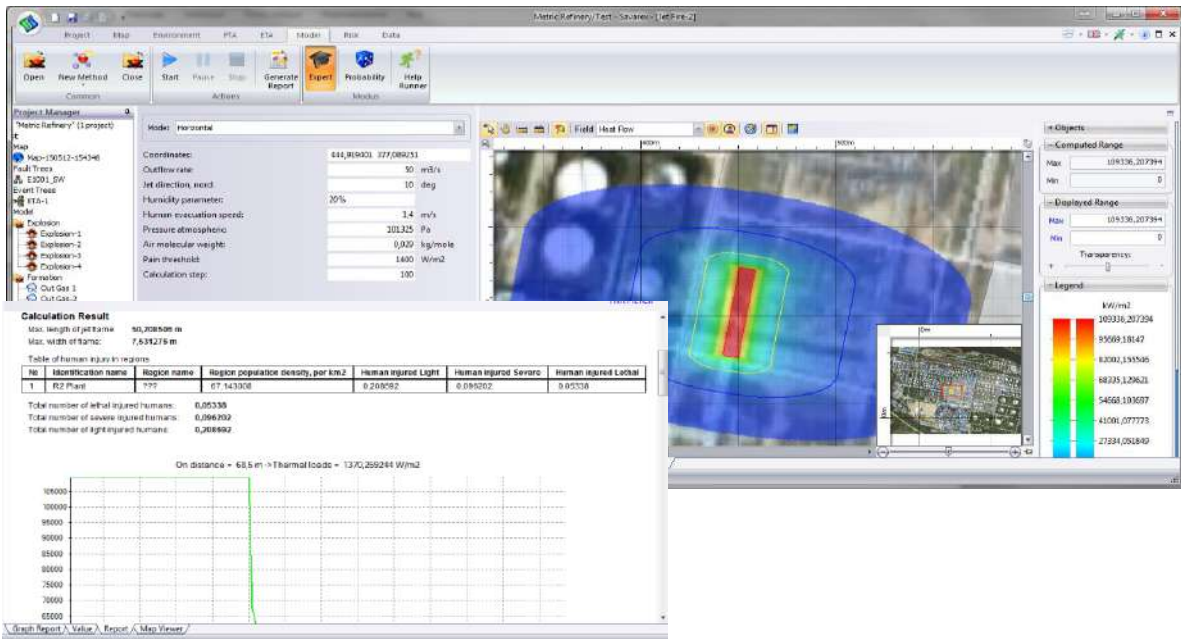
При виникненні вогненної кулі розраховуються всі параметри пожежі, а також висота, час існування, можливість займання об'єктів в результаті дії теплового випромінювання вогняної кулі, а також можливе число уражених різного ступеня тяжкості.



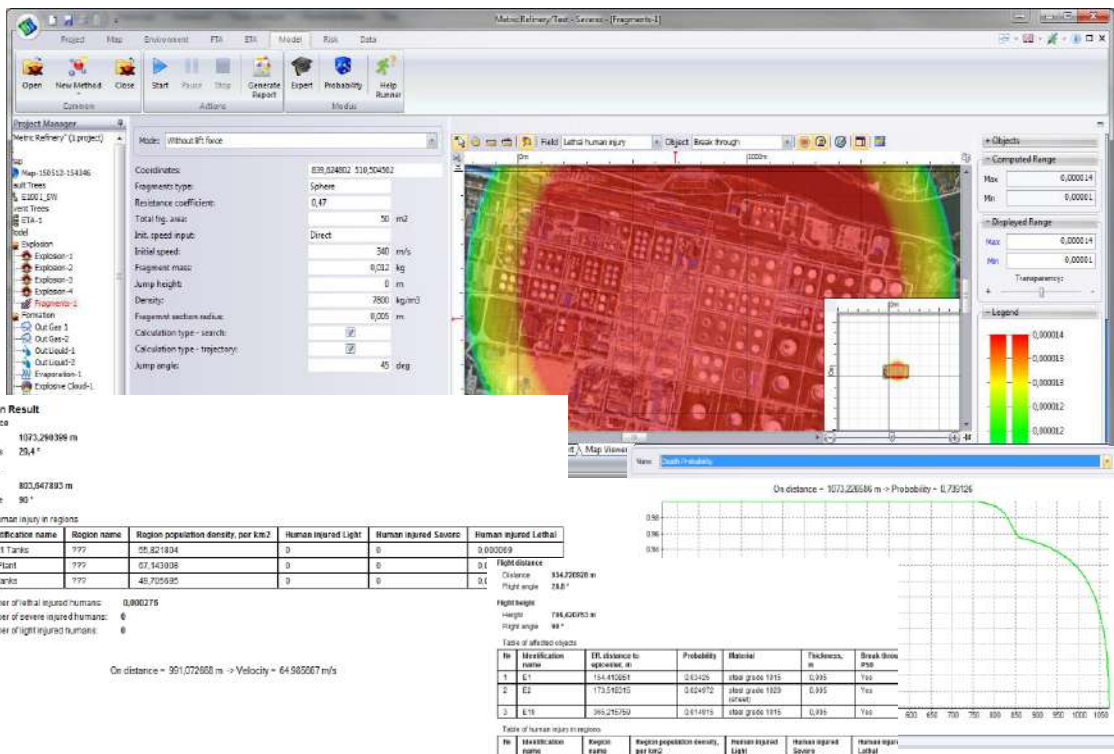
Модель вертикального факела дозволяє обчислити максимальні висоту і діаметр полум'я, теплове навантаження на різних відстанях від факела, ймовірність ураження людей з урахуванням їх можливого переміщення в безпечну зону:



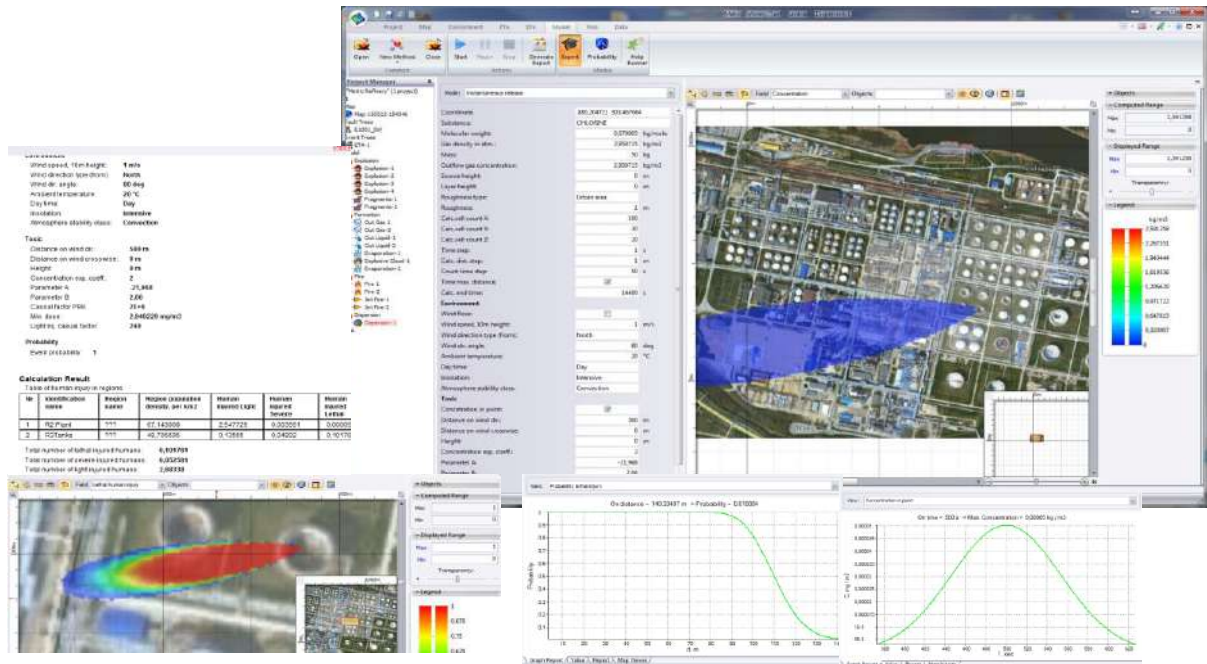
Модель горизонтального (настильного) факела дозволяє визначити поле теплових навантажень з урахуванням напрямку факела, глибину проникнення полум'я, ймовірність ураження людей. Модель представлена «тепловим циліндром».



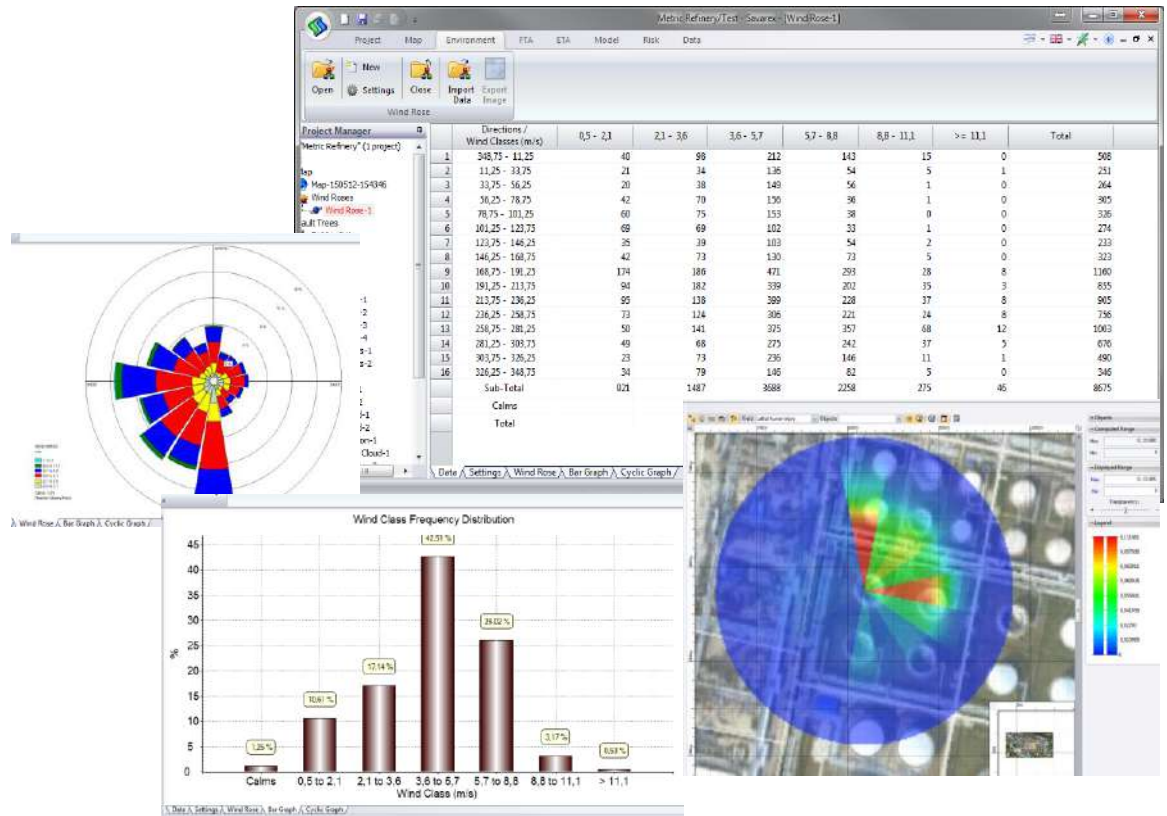
Виникаючі при вибухах або небезпечних механічних процесах оскол- ки можуть пробивати металеві стінки обладнання, що знаходиться під тис- ком (що може призвести до ефекту «доміно»), уражати людей. Модель роз- льоту осколків різної форми і розмірів з урахуванням опору повітря дозво- ляє визначити ймовірність такого ураження, попадання в об'єкти і пробиття їх:



Поширення домішки небезпечних газів або парів в атмосфері з урахуванням рельєфу місцевості, швидкості вітру, умов стану атмосфери (класів стабільності) представлено гауссом моделлю нейтральної плавучості. Визначаються тривимірні динамічні показники концентрації домішки на заданому шарі (щодо рівня землі), ймовірність можливого токсичного ураження людей різного ступеня тяжкості в відкритому просторі, часи підходу токсичною вони до об'єктів і ін.



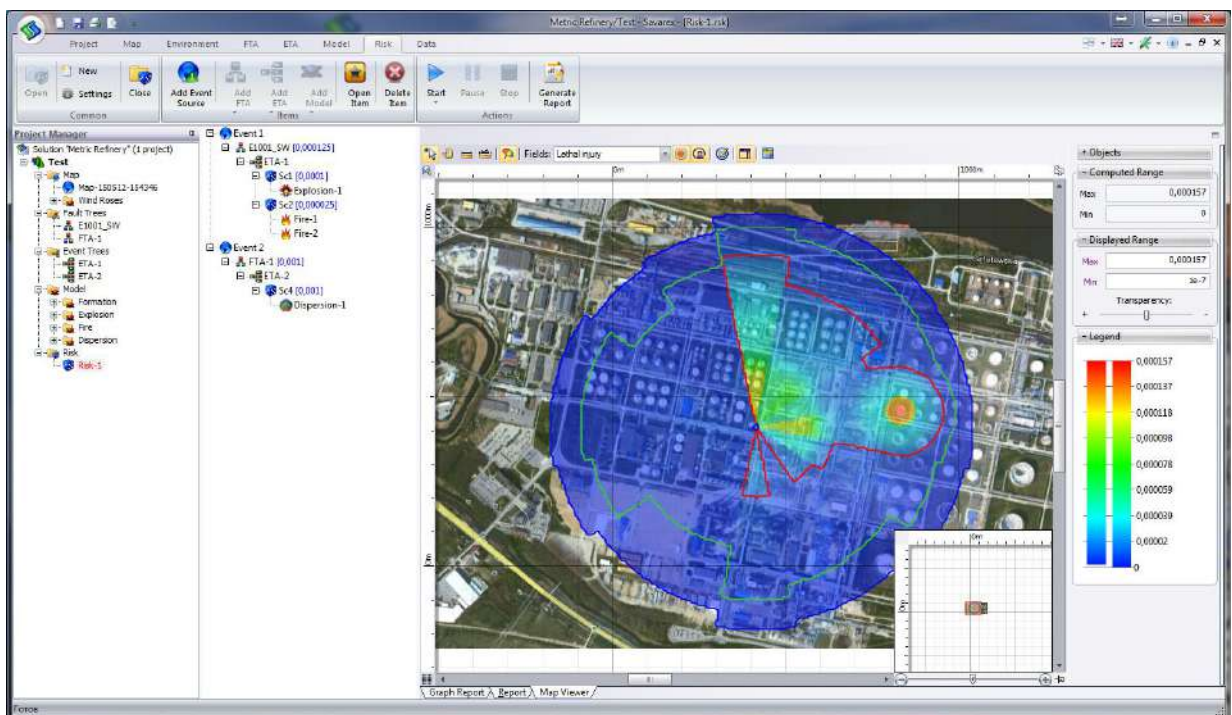
Для визначення ймовірності токсичного ураження з урахуванням ймовірності напрямків і швидкостей вітру, характерних для досліджуваної місцевості, вводиться «роза вітрів» з прив'язкою до певної області території. Роза вітрів представлена типовим стандартом, що застосовується в метеорології з можливістю налаштувань для відображення в різній формі:



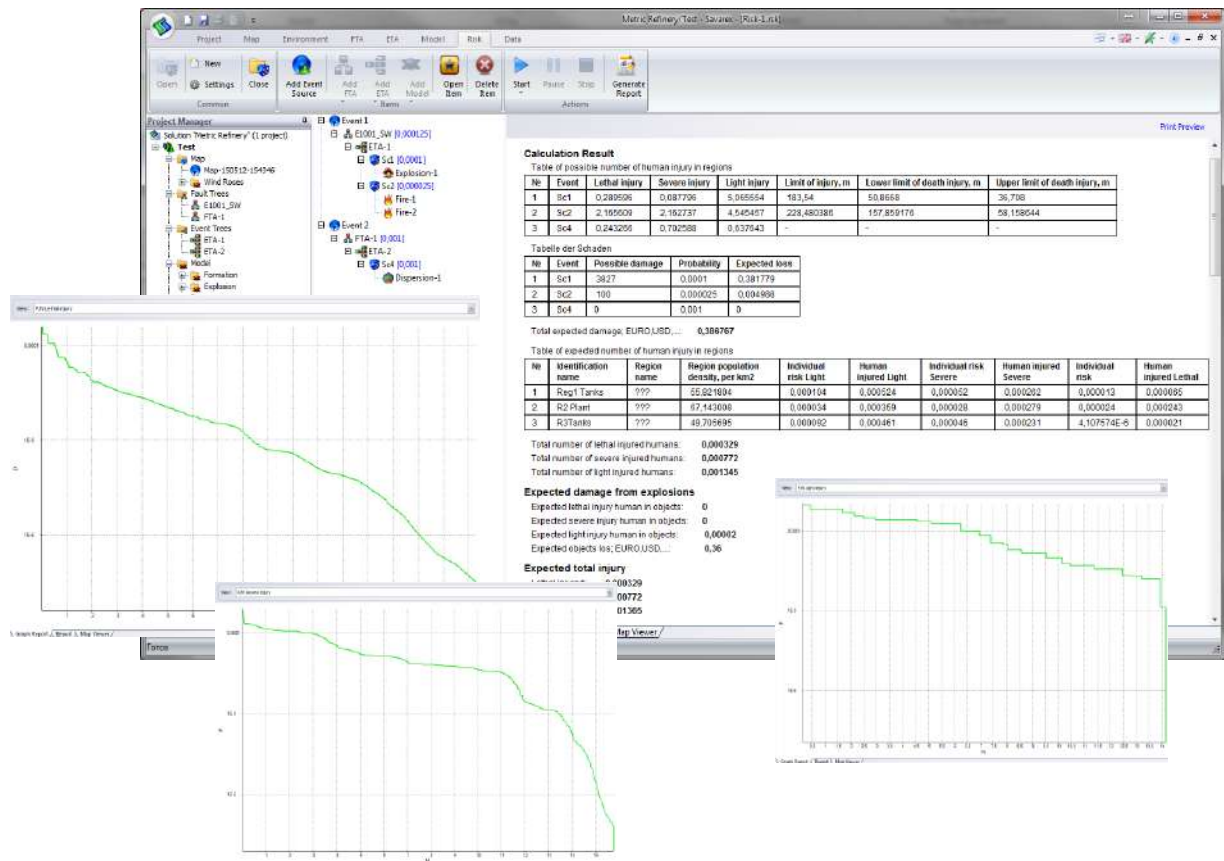
База даних системи відкрита для користувачів, містить всі необхідні для розрахунків дані. Основна таблиця речовин може містити фізичні параметри для більш ніж 1200 речовин і більш ніж 160 основних високотоксичних речовин. База може бути легко редагована і Поповнення засобами Savarex. Якщо користувачеві необхідно використовувати відомі йому параметри досліджуваної речовини або інші дані, то безпосередньо при моделюванні все вхідні дані можуть бути внесені зміни вручну.

Chemical Name	Formula	Mol. Weight	Crit. Temp.	Crit. Pressure	Crit. Volume	Nom. Boiling Pt.	Liq. Meas. Vol.	Flash Point
30000 FORMALDEHYDE	Formaldehyd	30,0263	406	854000	0,113	25		
54285 CARBON TETRACHLORIDE	Tetrachloroethanstoff	153,822	536,35	894000	0,176	84		
71432 BENZENE	Benzol	78,1116	542,65	4895000	0,236	80		
74428 METHANE	Methan	16,0428	339,85	609000	0,0996	18		
74828 METHYL BROMIDE	Methylbromid	94,9588	467	609000	0,156	23		
74831 ETHYLENE	Ethylen	28,0538	282,34	5841000	0,121	16		
74992 PROPANE	Propan	44,0955	369,83	6240000	0,2	23		
75014 VINYL CHLORIDE	Vinylchlorid	62,4983	432	567600	0,179	28		
75128 ETHYLENE OXIDE	Ethylenoxid	44,0512	460,15	2,196e+6	0,140206	28,6		
75283 ISOBUTANE	Isobutan	58,1234	407,8	3,648e+6	0,259	20,48		
75243 PHOSGENE	Phosgen	98,9138	425	5,6742e+6	0,19	20,71		
100078 N-BUTANE	n-Butan	58,1234	425,12	3,7064e+6	0,203	27,65		
107028 ACROLEIN	Acrolein	56,0642	300	35e+6	0,197	32,84		
107002 1,2-DICHLOROETHANE	1,2-Dichloroethan	98,9692	364,6	5,27e+6	0,22	30,584		
107131 ACRYLONITRILE	Acrylnitril	53,0636	535	4,48e+6	0,212	39,5		
108683 TOLUENE	Toluol	92,1405	591,25	4,596e+6	0,265	38,79		
108852 PHENOL	Phenol	94,113	694,25	6,32e+6	0,229	46,69		
110543 N-HEXANE	n-Hexan	86,1772	507,6	3,025e+6	0,371	34,88		
115071 PROPYLENE	Propylen	42,0866	364,9	4,8e+6	0,185	22,546		
118967 2,4,6-TRINITROCHLOROBENZENE	2,4,6-Trinitrochlorobenzol	227,113	828	3,04e+6	0,372	625		
124828 METHYL ISOCYANIDE	Methylisocyanid	57,052	488	5,48e+6	0,282	31,2		
133320 HYDROGEN CYANIDE	Hydrogencyanid	27,0158	33,19	1,312e+6	0,064147	30,39		
764710 HYDROGEN CYANIDE	Hydrogencyanid	39,4666	324,65	8,31e+6	0,081	188,15		
766447 AMMONIA	Ammoniak	17,0306	405,65	1,128e+7	0,07247	239,72		
7726056 BROMINE	Bromin	159,808	584,15	1,03e+7	0,135	331,9		
778255 CHLORINE	Chlorin	70,9054	417,15	7,71e+6	0,124	239,12		
1045240 NITROGEN DIOXIDE	Dinitrogenoxid	46,0055	431,15	1,0132e+7	0,08240	294,15		
86200213 PETROLEUM	Petroleum	103	570	56e+6	0,25	353,24		

Об'єднаний ризик від множинних незалежних джерел моделюється шляхом створення структури негативних подій, характерних для досліджуваних джерел небезпеки, розташованих в метричному просторі. Імовірність виникнення негативної події може бути представлена відповідним йому ФТА. Поділ на сценарії розвитку аварії здійснюється при введенні відповідного ЕТА.



Крім полів територіального ризику створюється звіт, в якому в табличному вигляді представлені дані щодо можливих зон ураження для всіх сценаріїв, можливого і очікуваного числа уражених в відкритих просторах і руйнуються будівлях, прямий матеріальний можливий і очікуваний збиток, PN криві, на підставі яких визначається рівень соціального або колективного ризику



ДОДАТОК 3. Акти впровадження результатів дисертаційного дослідження.

«BESTÄTIGT»
 Managing director
 Wiwasoft GmbH, Vahrenwalder Str. 7
 D-30165 Hannover Deutschland
 Commercial register: Amtsgericht Hannover



NACHWEIS

über die Umsetzung der Arbeitsergebnisse der Dissertation "Informationstechnologien für das Management der technologischen Risiken" von Herrn Volodymyr Olecksiwitsch Lyfar, welche zur Erlangung des Doktorgrades der Wissenschaft vorgestellt ist.

Im Einklang mit der staatlichen Unterstützung der Niedersächsischen Landesregierung (Deutschland) und anhand des Kooperationsvertrages zwischen Wiwasoft GmbH und Herrn Volodymyr Lyfar („Kooperationsvertrag über die Zusammenarbeit bei der Entwicklung einer technisch-wissenschaftlichen Technologie und die Software für die Modellierung der gefährlichen Prozesse und für das Management der industriellen Sicherheit“) bestätigen wir Folgendes:

6. Die Ergebnisse der wissenschaftlichen Forschung und Entwicklung von Herrn V.O. Lyfar über die komplexe Analyse und Entwicklung von technischen Lösungen im Risikomanagement durch den Einsatz von Informationstechnologien und auf der Basis der Modellierungsmethoden der mehrdimensional optimierten Suchverfahren nach akzeptablen technologischen Risiken der gefährlichen Objekte auf der betrieblichen und staatlichen Ebene, haben eine Entwicklung der mathematischen Systeme und die Software ermöglicht, die notwendige Unterstützung bei den strategischen Entscheidungen über die nachhaltige Entwicklung zu gewährleisten.
7. Die Anwendung der vorgeschlagen Methoden für die Automatisierung der Schlüsselphasen einer Niveaubeurteilung der technologischen Sicherheit und der mehrschichtige Ansatz zur Simulation von Notfallverfahren und deren Effekte, die die verschiedenen Methoden der Regulierung der nationalen Sicherheit durch die Annahme von technischen, wirtschaftlichen und organisatorischen Lösungen kombiniert haben, ermöglicht eine Lösung, die die Interessen der Industrie, der Öffentlichkeit und der Regierungsbehörden berücksichtigt zu finden und abzustimmen. So sind auch die Anforderungen der europäischen Rechtsvorschriften der "Seveso-Richtlinie" ausgeführt.
8. Entsprechend der wissenschaftlichen Grundlagen und Entwicklungen Herr Lyfar V.O. s hat die Wiwasoft GmbH das Software-Tool erstellt, welches die Methodik der technologischen Risiken zu implementieren ermöglicht hat, und welches verwendet wird, um die Entscheidungsprozesse bei der Untersuchung von gefährlichen Objekten, deren Sicherheitsniveaus, Störfällen und Unfällen zu unterstützen.
9. Die automatisierte Modellierung der gefährlichen Prozesse reduziert die Analysezeit des Betriebssicherheitsniveaus erheblich und ermöglicht es, Entscheidungsprozesse zu objektivieren und die Grundlagen für die industrielle Haftpflichtversicherung vorzubereiten.
10. Insgesamt betrachtet, sind die Methoden und die Software eine Innovation in Deutschland. Erstmals ist es möglich die gesetzlichen Anforderungen, die gesellschaftlichen Belangen und die Interessen der Industriebetreiber auf einem erforderlichen akademischen Niveau zu harmonisieren.


 WIIWASOFT GmbH
 Vahrenwalder Str.
 30165 Hannover
 Tel: +49 (0) 511 / 93 57 230
 Fax: +49 (0) 511 / 93 57 231
 Internet: www.wiwasoft.de

Managing director Wiwasoft GmbH

 Waldemar Witt

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
 Managing director
 Wiwasoft GmbH, Vahrenwalder Str. 7
 D-30165 Hannover Deutschland
 Commercial register: Amtsgericht Hannover
 HRB 201471


 _____ Waldemar Witt
 « » « » 20 р.

АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи Лифара Володимира Олексійовича за напрямом «Інформаційні технології управління техногенним ризиком», представленої на здобуття вченого ступеня доктора технічних наук

Згідно державної підтримки керівництва Землі Нижня Саксонія (Німеччина) та за дією контракту на співробітництво компанії Wiwasoft GmbH з Володимиром Лифарем («Контракт по співробітництву на сумісну розробку науково-технічної технології та програмних засобів в галузі моделювання небезпечних процесів та керування промисловою безпекою.») підтверджуємо наступне:

6. Результати наукових розробок і досліджень В.О. Лифара з комплексного аналізу і розробки рішень при управлінні техногенним ризиком за рахунок використання інформаційних технологій, методології пошуку прийнятного рівня техногенного ризику небезпечних об'єктів на виробничому та державному рівнях, що заснована на впровадженні на моделюванні та використанні методів багатомірної оптимізації, дозволили розробити математичне та програмне забезпечення систем підтримки прийняття стратегічних рішень по забезпеченню стійкого розвитку.
7. Використання запропонованої методології автоматизації основних етапів оцінки рівня техногенної безпеки та багаторівневого підходу до моделювання аварійних процесів та їх наслідків, що об'єднали різноманітні методи регулювання національною безпекою за рахунок прийняття технічних, економічних та організаційних рішень дозволяє знайти та узгодити рішення, що в достатній мірі враховує інтереси виробників, територіальних спільнот та державних органів. Таким чином виконуються вимоги Європейського законодавства за „Seveso“ директивою.
8. За науковою постановою та розробками Лифара В. О. компанією Wiwasoft GmbH були створені програмні засоби, що дозволяють реалізувати методологію управління техногенним ризиком, та використовуються для підтримки прийняття рішень що до техногенних об'єктів, експертизі рівня безпеки, інцидентів та аварій.
9. Автоматизація моделювання небезпечних процесів значно скорочує час аналізу рівня безпеки підприємств, дозволяє об'єктивізувати процес прийняття рішень та підготувати процедури для страхування відповідальності промисловців.
10. Загалом розроблені методи та програмні засоби є інноваційними в Німеччині та вперше дають можливість гармонізувати вимоги законодавства, інтереси виробників та суспільства на необхідному науковому рівні.

Директор Wiwasoft GmbH

Переклад українською: W. Witt


 WIVASOFT GmbH
 Vahrenwalder Str. 7
 30165 Hannover
 Tel: +49 (0) 511 / 93 57 230
 Fax: +49 (0) 511 / 93 57 231
 Internet: www.wiwasoft.de

Вольдемар Витт



« » « » 201 р.

АКТ

про впровадження в навчальний процес результатів дисертаційної роботи
Лифара Володимира Олексійовича
 за напрямом «Інформаційні технології управління техногенним ризиком»,
 представленої на здобуття вченого ступеня доктора технічних наук

Цим актом підтверджується, що результати досліджень, які проводилися у межах наукового напрямку "Методологія та інформаційна технологія управління техногенним ризиком об'єктів підвищеної небезпеки" за тематикою науково дослідних робіт № 0115U004878 впроваджені на кафедрі комп'ютерної інженерії в процес підготовки студентів за напрямом 6.05010201 – «Комп'ютерна інженерія» та 7(8).05010202 – «Системне програмування» для наступних дисциплін:

1. «Комп'ютерне моделювання процесів і систем» - введений теоретичний матеріал за темами «Технологи імітаційного моделювання в системах підтримки прийняття рішень», «Комп'ютерне моделювання в промисловості» та матеріали для практичного засвоєння «Багаторівневий підхід до моделювання».

2. «Інженерія програмного забезпечення» - введений теоретичний матеріал за темою «Базові технології, інструментальні та програмні засоби проєктування систем підтримки прийняття рішень»

3. «Основи системного аналізу об'єктів і процесів комп'ютеризації» - введений теоретичний матеріал за темою «Моделі та методи побудови інструментальних засобів підтримки прийняття рішень» та матеріали для практичного засвоєння «Синтез моделей прийняття рішень в складних системах», «Моделі прийняття рішень при наявності конкуруючих гіпотез».

4. «Комп'ютерні технології в науці та виробництві» для студентів освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр», введений теоретичний матеріал за темою «Технології розроблення сховищ даних» та матеріал для практичного засвоєння «Методи багатовимірного моделювання».

5. «Інтелектуальній аналіз даних», «Математичні методи дослідження операцій», «Методи та засоби комп'ютерних інформаційних технологій».

Узгоджено:

**Проректор з науково-педагогічної
 роботи та міжнародної діяльності
 Східноукраїнського національного
 університету імені Володимира Даля
 д.т.н., проф.**

О. І. Рязанцев

«УЗГОДЖЕНО»
Ректор Східноукраїнського
національного університету імені
Володимира Даля

О.В. Поркуян
« » 201 р.



«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Директор
ПрАТ «СНВО «Імпульс»

А.А. Журба
« » 201 р.



АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи
Лифара Володимира Олексійовича
за напрямом «Інформаційні технології управління техногенним ризиком»,
представленої на здобуття вченого ступеня доктора технічних наук

Ми, спеціалісти, які підписали цей документ, підтверджуємо наступне:

1. Результати наукових розробок і досліджень В.О. Лифара з управління техногенним ризиком об'єктів підвищеної небезпеки використовуються для підтримки прийняття що до рівня надійності обладнання, проведення SIL аналізу і оптимізації при виробленні вимог до надійності електронних, електричних і програмованих пристроїв в системах управління і засобах подвійного призначення.
2. Використання розроблених в дисертації методів та засобів оцінки ризику виникнення аварій на базі аналізу причинно-наслідкових зв'язків в технологічних лініях керування процесами дозволяє отримати кількісні показники ризику та визначити множини відмов, що перевищують прийнятний рівень безпеки.
3. Використання методів оптимізації підтримки рішень що до приведення рівня надійності обладнання до прийнятного дозволяють значно скоротити складність систем безпеки та коштовність розробок.
4. Використання розроблених програмних засобів та методів підтримки рішень значно скорочує час, що виділяється на частину проекту щодо безпеки виробництва та дозволяє вирішити суперечності, які можуть виникнути з наглядовими органами.

Узгоджено:

Заступник директора з наукової роботи, к.т.н.

Завідувач відділом №35, к.т.н.

Г.Ю. Пивоваров

В. А. Ларгін



Затверджую
Голова правління
Приватного Акціонерного товариства
«Свердловський ОРХІМ»

Кошовець М.В.

« » 201 р.

АКТ
про впровадження результатів
дисертаційної роботи В. О. Лифара

Комісія у складі: Технічний директор Азаров М. І.; Директор проектного інституту Пономарьов В. О. склала цей акт про те, що результати дисертаційної роботи В. О. Лифара:

- моделі і методи оцінки ризику об'єктів підвищеної небезпеки, комплексного аналізу і вироблення рішень при управлінні рівнем безпеки за рахунок використання інформаційних технологій, методології пошуку прийнятного рівня техногенного ризику об'єктів підвищеної безпеки;

- теоретичні основи контролю рівня безпеки об'єктів підвищеної небезпеки шляхом автоматизації основних методів збору і обробки даних, визначення параметрів і критеріїв прийняття прийнятного рівня ризику та отримання інтегрованого рівня безпеки для промисловості;

- методи і моделі планування та управління рівнем техногенної безпеки шляхом ведення ремонтно-відновлювальних робіт за принципом "відновлення за станом", а також підготовки до аудиту страхування підприємств;

- програмні засоби інформаційної технології оцінки ризику; використовуються при проведенні експертних оцінок рівня ризику виробництв що проєктуються, знаходяться в стані реконструкції, або введення в експлуатацію, експлуатуються, або знаходяться в стані ліквідації або консервації.

Застосування запропонованих Лифарем В.О. методик, моделей, методів, програмних засобів дозволяє:

- автоматизувати процес оцінки ризику ОПН;
- виконати велику кількість договірних робіт по розробці обов'язкових частин проєктів нафтопереробних підприємств і інших об'єктів підвищеної небезпеки;
- автоматизувати процес вироблення необхідних рішень щодо приведення рівня ризику ОПН до прийнятного;
- розробляти документацію і проходити процедуру державної експертизи обов'язкової частини проєктної документації не рівні, встановленому законодавством.

Технічний директор

Директор проектного
інституту

Азаров М. І.

Пономарьов В. О.

ЗАТВЕРДЖУЮ



Лисичанського міського
управління ГУ ДСНС України у Луганській обл.,
полковник служби цивільного захисту
Мазалов С. В.

АКТ

**щодо впровадження результатів наукових положень
та висновків дисертаційної роботи Лифара В. О.**

Комісія у складі:

Голови: заступник начальника Лисичанського міського управління ГУ ДСНС України,
підполковник служби цивільного захисту Роднюк Д. С.

членів комісії:

1 начальник ДПРЧ-9, майор служби цивільного захисту Тимченко В. В.

2 головний фахівець відділу цивільного захисту, майор служби цивільного захисту
Мельник Ю. М.

склали цей акт щодо впровадження наукових положень та висновків які містяться у дисертаційній роботі Лифара В. О. і встановила, що розроблені програмні засоби, моделі і методи оцінки наслідків промислових аварій дозволяють аналізувати процеси виникнення та розвитку аварійних подій, оцінювати ризик та рівень небезпеки, планувати дії служб цивільного захисту, моделювати наслідки аварій на хімічних підприємствах регіону.

З використанням пакету програм, розробленого на базі методів, моделей, та даних, які встановлені у дисертаційній роботі розроблені картки небезпеки промислових підприємств, плани та документи відділу цивільного захисту.

Застосування запропонованих методів, методик та програмних засобів на їх основі дозволило значно скоротити час та підвищити якість розрахунків, використати інформаційну технологію оцінки наслідків аварій для прийняття рішень щодо виконання функцій цивільного захисту.

Акт складено для пред'явлення у спеціалізовану вчену раду.

Голова

 Роднюк Д. С.

Члени комісії:

 Тимченко В. В.

 Мельник Ю. М.



АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи Лифара В. О.

Комісія у складі:

Головний технолог Рогульова М.А.

Провідний інженер Харитонов В.С.

склала цей акт про те, що результати дисертаційної роботи В. О. Лифара:

- моделі і методи оцінки ризику об'єктів підвищеної небезпеки, аналізу процесів виникнення та розвитку аварій, рішень щодо засобів протидії аварій та подвійного призначення впливу на рівень безпеки;

- аналіз проектів та виявлення поточного рівня безпеки об'єктів підвищеної небезпеки шляхом автоматизації методів збору і обробки даних, розрахунків при визначення параметрів ризику, методів синтезу моделей причинно-наслідкових процесів, отримання інтегрованого рівня безпеки для промислових об'єктів ;

- методи і моделі визначення стохастичних показників відмов та аналізу необхідних засобів підвищення безпеки (в тому числі проведення SIL аналізу для систем управління);

- програмні засоби інформаційної технології оцінки ризику - корисні при розробці проектів потенціально небезпечних об'єктів хімічної промисловості.

Застосування запропонованих Лифарем В.О. моделей, методів, інформтехнологій програмних засобів дає можливість:

- автоматизувати процес оцінки та аналізу ризику об'єктів на стадії проекту;

- підвищити якість договірних робіт по розробці обов'язкових частин проектів підприємств хімічної промисловості;

- об'єктивізувати процес пошуку необхідних рішень щодо приведення рівня безпеки об'єктів, що проектуються до прийняттого.

Головний технолог

Рогульова М.А.

Провідний інженер

Харитонов В.С.