УДК 623.68

В. П. Варакута

ВИЗНАЧЕННЯ РІВНІВ БЕЗПЕКИ І ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКІВ ВИНИКНЕННЯ НЕШТАТНИХ СИТУАЦІЙ НА ТЕХНОГЕННО НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТАХ

На основі аналізу загроз, джерелом виникнення яких є такі техногенно небезпечні об'єкти,, як атомні електростанції і сховища зберігання вибухових та інших небезпечних речовин, визначені рівні безпеки і проведене оцінювання ризиків виникнення аварійних і, як можливий наслідок, критичних ситуацій на цих об'єктах. Визначено заходи запобігання надзвичайним ситуаціям на техногенно небезпечних об'єктах.

Постановка проблеми. Як показали події, що сталися за останні тридцять років, на економіку і стабільність розвитку будь-якої держави суттєво впливає стан технологічного обладнання техногенно небезпечних об'єктів, можливість їх безаварійного функціонування.

Заглянемо в історію розвитку, наприклад, атомної енергетики США, колишнього СРСР та України і переконаємося, що аварії на ядерних реакторах почалися одразу ж після їх появи (див. табл.).

Таблиця

Пор. №	Де сталася аварія	Дата	Причини	Наслідки
1	2	3	4	5
США				
1	м. Детройт	1951 р.	Дослідний реактор	Забруднення повітря радіоактивними газами
2	м. Санта-Сюзан (шт. Каліфорнія)	24.06.1959 р.	Вихід з ладу системи охолодження реактора	Забруднення території АЕС
3	м. Айдахо-Фолс (шт. Айдахо)	3.01.1961 р.	Викид пари на експериментальному реакторі	Загинуло троє осіб
4	Поблизу м. Детройта	5.11.1966 р.	Вихід з ладу системи охолодження реактора "Енріко Фермі"	Забруднення території АЕС
5	м. Монтжелло (шт. Міннесота)	19.11.1971 р.	Пошкодження сховища	200 тис. л забрудненої радіоактивними речовинами води потрапило у річку Міссісіпі, 100 осіб зазнало опромінювання
6	АЕС "Тримайл-Айленд"	28.03.1979 р.	Втрата охолодження реактора	Забруднення повітря радіоактивними газами та річки Сукуахана рідкими відходами, евакуація населення
7	м. Ервинг (шт. Теннессі)	7.08.1979 р.	Викид збагаченого урану на заводі з виготовлення ядерного палива	Близько 1000 осіб отримали дозу опромінювання, що в шість разів перевищувала норму
8	м. Рочестер	25.01.1982 р.	Пошкодження труби парогенератора на реакторі "Джина"	Викид радіоактивної пари в атмосферу
9	м. Онтаріо (шт. Нью-Йорк)	30.01.1982 р.	Аварія в системі охолодження реактора	Викид радіоактивних речовин у атмосферу
10	АЕС "Самер-Плант"	28.02.1985 р.	Мав місце некерований ядерний розгін	
11	АЕС "Індіан-Пойнт-2"поблизу Нью-Йорка	18.05.1985 р.	Витік радіоактивної води	Витік декількох десятків галонів радіоактивної води за межі території АЕС
12	Уэбберг-Фолс	1986 р.	Вибух резервуара з радіоактивним газом на заводі зі збагачення урану	Загинула одна та травмовано вісім осіб

© В. П. Варакута

З а к і н ч е н н я т а б л.

1	2	3	4	5
Колишній СРСР				
13	м. Мелекес	7.05.1966 р.	Розгін на миттєвих нейтронах на АЕС з кип'яченим ядерним реактором	Зазнали опромінювання дозиметрист і начальник зміни
14	Білоярська АЕС	1964 – 1979 рр.	Неодноразові руйнування паливних складань активної зони на першому блоці	Експлуатаційний персонал зазнав опромінювання
15	Ленінградська АЕС	7.01.1974 р.	Вибух залізобетонного газгольдера видержки радіоактивних газів на першому блоці	
16	Ленінградська АЕС	6.02.1974 р.	Розрив проміжного контуру на першому блоці	Загинуло троє осіб. Високоактивна вода з пульпою фільтропорошку потрапила у зовнішнє середовище
17	Ленінградська АЕС	жовтень 1975 р.	Часткове зруйнування активної зони на першому блоці	Викид у атмосферу близько 1,5 млн Кі високоактивних радіонуклідів
18	Білоярська АЕС	1977 р.	Розплавлення половини складань активних зон на другому реакторі	Експлуатаційний персонал зазнав опромінювання
19	Білоярська АЕС	31.12.1978 р.	Пожежа на другому блоці	Вісім осіб зазнали опромінювання
20	Вірменська АЕС	жовтень 1982 р.	Вибух генератора на першому блоці	
21	Балаківська АЕС	27.06.1985 р.	Аварія на першому блоці	Загинуло 14 осіб
Україна				
22	Чорнобильська АЕС	вересень 1982 р.	Руйнування центрального паливного складання на першому блоці внаслідок помилкових дій обслуговуючого персоналу	Викид радіоактивних речовин у промислову зону та м. Прип'ять. Ремонтний персонал зазнав опромінювання
23	Чорнобильська АЕС	1986 р.	Вибух четвертого реактора	Катастрофа світового масштабу

Для ліквідації наслідків катастрофи, що сталася в Україні у 1986 р. на Чорнобильській АЕС, було витрачено мільярди коштів на дезактивацію і дегазацію промислової зони, створення саркофага над четвертим реактором, відселення величезної кількості навколишніх мешканців, облаштування п'ятдесяти - та двадцятикілометрової зон відчуження навколо об'єкта. Повністю була зруйнована інфраструктура цілого району у центрі країни. За приблизними підрахунками від цієї катастрофи загинуло і постраждало більш ніж 400 тис. осіб у десяти країнах Європи та Канаді. Суттєво погіршився екологічний стан довкілля.

До техногенно небезпечних об'єктів віднесено не тільки АЕС. Протягом останніх років в Україні, на жаль, продовжують мати місце аварії і катастрофи, пов'язані з військовою діяльністю, наслідками яких є значні матеріальні збитки та загибель військовослужбовців, а інколи і цивільного населення. Яскравими прикладами є надзвичайні ситуації, що сталися на складах боєприпасів ракетно-артилерійського озброєння 52-ї окремої механізованої бригади (м. Артемівськ Донецької обл.), 275-ї бази зберігання артилерійських боєприпасів (с. Новобогданівка Запорізької обл.) та 61-го арсеналу (м. Лозова Харківської обл.).

За даними статистики сьогодні на більш ніж 200 військових складах зберігається близько 2 млн т боєприпасів. Негайної утилізації потребують близько 200 тис. т боєприпасів, у тому числі 24 тис. т ракет. Важливу роль відіграє і природний плин часу. Середній термін технічної придатності боєприпасів складає дванадцять років. Вважається, що за поточний рік закінчується ресурс

зберігання 10 – 15 тис. т боєприпасів. Наприклад, для внутрішніх військ МВС України останні поставки боєприпасів були у 1989 – 1990 рр. Можна впевнено стверджувати, що достатньо велика їх кількість на складах внутрішніх військ є за тими чи іншими межами гарантійних термінів зберігання.

Отже, зважаючи на принципову можливість і наслідки техногенних катастроф, виникає необхідність заздалегідь планувати заходи щодо запобігання можливої шкоди. Своєчасне виявлення загроз, їх оцінювання та удосконалення методів забезпечення безпеки техногенно небезпечних об'єктів є актуальними напрямками досліджень.

Доцільність виконання цих завдань стосується забезпечення захисту від наслідків надзвичайних ситуацій, обумовлених руйнуваннями або аваріями на техногенно небезпечних об'єктах [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Враховуючи масштаби наслідків руйнувань, ефективність попереджувальних заходів на техногенно небезпечних об'єктах доцільно визначати за допомогою відповідного показника *ризику* як імовірності виникнення на них небезпеки.

Аварії і катастрофи, що мали місце в країнах світу, призвели до перегляду загальноприйнятої концепції безпеки, пов'язаної з техногенно небезпечними об'єктами. Згідно з цією концепцією право на існування мають ті об'єкти, які безпечні для населення та навколишнього природного середовища. Аналіз об'єктивних передумов і наслідки аварій і катастроф для людини і навколишнього середовища раніше розглядали у форматі концепції *гарантованої* або *повної* безпеки, теоретичним підґрунтям якої було твердження про відсутність виникнення будь-якої явної форс-мажорної обставини під час функціонування об'єкта у штатному режимі.

Процес перегляду цієї концепції особливо активізувався після аварії на Чорнобильській АЕС. Прийшло розуміння, що будь-який, навіть самий довершений, техногенний об'єкт не захищений від аварій і є носієм небезпеки певного рівня.

Важливими характеристиками небезпеки є:

– ймовірна *частота* її виникнення;

– *рівень* безпеки – ймовірне значення моменту функціонування об'єкта, до меж якого забезпечується штатний режим;

– *зона ризику* – розрахунковий нижній і верхній рівні функціонування об'єкта, в межах яких може початися нештатна ситуація.

Після аварій на АЕС США (див. табл.), Канади і Японії у суспільній свідомості концепція оцінки ймовірного рівня *гарантованої (повної) безпеки* об'єкта замінюється концепцією оцінки ймовірного рівня *граничної (проектної) безпеки* ($p_{ij\ 2}$) об'єкта (див. рис. 1). При осмислюванні цієї концепції за межами рівня граничної безпеки припускається можливість виникнення надзвичайної події, яка пов'язана з нештатною ситуацією на об'єкті. Така ймовірність, на думку авторів концепції, зведена до мінімуму.

Концепція рівня граничної безпеки спочатку розроблялася стосовно до об'єктів атомної енергетики. Перше комплексне дослідження з оцінювання безпеки було організоване Комісією з атомної енергії (США) і завершилося у 1977 р. випуском звіту "Аналіз безпеки реактора", в якому професор Н. Расмуссен і керована ним група дослідників запропонували методологію та повідомили результати прогнозування оцінок безпеки об'єктів атомної енергетики. Дослідження за методом Расмуссена стали стандартною процедурою, яку проводять на етапі проектування техногенних об'єктів. Дотепер концепція рівня граничної безпеки в багатьох країнах Західної Європи та Америки одержала не тільки суспільне визнання, а й законодавче оформлення.

Що лежить в основі прогнозування величини збитку при аваріях і катастрофах на техногенних об'єктах? Як і всякий прогноз, його можна скласти з використанням різних підходів. Наприклад, на базі статистичного матеріалу за наслідками аварій і катастроф на промислових об'єктах або за експертними оцінками і т. ін. Проте вказані підходи за методом Расмуссена застосовані для прогнозування наслідків тільки типових аварійних ситуацій і лише на типових техногенно небезпечних об'єктах [3].

У [4] запропоновано підхід, при якому як критерій оптимізації управління ресурсами, призначеними для запобігання і ліквідації наслідків техногенно небезпечних надзвичайних ситуацій, використовується один з найважливіших макроекономічних показників – *валовий внутрішній продукт*. Там же наведено основні етапи методики, яка дозволяє вирішити задачу оптимального управління зазначеними ресурсами. Методика включає методи аналізу безпеки і визначення збитків від аварій (руйнувань) на радіаційно та хімічно небезпечних об'єктах на основі математичного та комп'ютерного моделювання і

прогнозування техногенного забруднення навколишнього середовища, методи оцінювання натуральних збитків і прогнозування макроекономічних наслідків надзвичайних ситуацій, а також алгоритми вирішення задач ресурсної оптимізації.

Описаний науково-методичний апарат і розроблене на його основі програмне забезпечення дозволили отримати кількісні показники тільки у випадку вирішення задачі *оптимального управління ресурсами* при запобіганні руйнуванням (аваріям) на об'єктах зберігання, наприклад, компонентів рідкого ракетного палива.

Метою статті є визначення рівнів безпеки техногенно небезпечних об'єктів, оцінювання ризиків як імовірності виникнення нештатних ситуацій на них та дослідження залежності їх від терміну функціонування об'єктів або зберігання вибухових і інших небезпечних речовин.

Виклад основного матеріалу. В загальному випадку прогнозування всіх вказаних частот (ймовірностей) є незалежним. При оцінюванні частот випадкових процесів і подій можуть бути використані різні підходи. Наприклад, оцінювання за ретроспективними даними, оцінювання за допомогою марківських моделей, оцінювання за допомогою дерев відмов та подій, експертне оцінювання і т. ін.

Показник імовірного рівня *гарантованої* або *повної* ($p_{ij\,1}$) безпеки і-го типу на j-му об'єкті (рис. 1) визначається як відношення ймовірної кількості подій з небажаними наслідками (n_{ij}) до ймовірної максимально можливої їх кількості (N_{ij}) за конкретний період часу:

$$p_{ij\,1} = (n_{ij} / N_{ij}), \qquad (1)$$

де $p_{ij\,1}$ =0,999…1

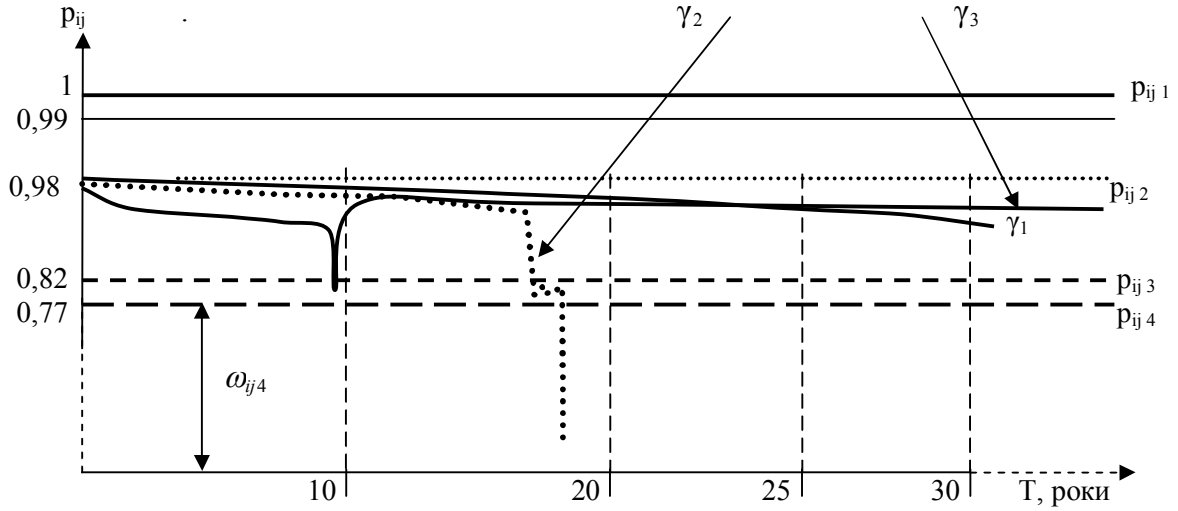

Рис.1. Графік умовних рівнів безпеки функціонування АЕС
(для наочності наведені *умовні* кількісні показники рівнів безпеки об'єкта)

На рис. 1. позначено:

p_{ij} – ймовірні рівні безпеки; T – тривалість штатного функціонування; $p_{ij\,1}$ – ймовірний рівень повної (гарантованої) безпеки; $p_{ij\,2}$ – ймовірний рівень граничної безпеки; $p_{ij\,3}$ – ймовірний рівень аварійної небезпеки; $p_{ij\,4}$ – ймовірний рівень критичної небезпеки; γ_1 – крива ризику безпеки при тривалому (десятки років) штатному функціонуванні; γ_2 – крива ризику аварійної небезпеки з виходом на штатний режим; γ_3 – крива ризику критичної небезпеки з виходом на нештатний режим; ω_{ij4} – зона ризику виникнення критичної небезпеки.

Формула (1) дозволяє розрахувати значення *загального* та *групового* ризиків. При оцінці ймовірного *загального рівня безпеки* величина N_{ij} визначає максимальну кількість усіх подій, а при оцінці ймовірного *рівня групової безпеки* – максимальну кількість подій у конкретній групі, що вибрана із загальної кількості за певною ознакою.

У групу можуть входити, наприклад, експлуатаційний персонал АЕС або військовослужбовці внутрішніх військ МВС України однієї професії, віку чи статі. Групу можуть складати також транспортні засоби одного типу, один клас суб'єктів господарської діяльності тощо.

Зміна концепції гарантованої безпеки об'єкта на концепцію його граничної безпеки викликала необхідність чисельного вимірювання різних рівнів безпеки техногенно небезпечного об'єкта з метою управління цими рівнями, що припускає пошук технологічних, конструкторських, архітектурних, організаційних і інших рішень, що забезпечують зменшення величини небезпеки до прийнятного (гарантованого) рівня.

Звичайно рівень безпеки техногенно небезпечного об'єкта, що функціонує у штатному, передбаченому проектом режимі, незрівнянно вищій за рівень безпеки техногенно небезпечного об'єкта, на якому виникла аварійна ситуація. Тому оцінка ймовірного рівня аварійної небезпеки (рис. 1) має більш точні значення, ніж оцінка рівня граничної (проектної) небезпеки об'єкта, що функціонує у штатному режимі.

Треба усвідомити, що рівень аварійної небезпеки техногенно небезпечного об'єкта є величина стала і має чисельне значення, притаманне тільки для безпеки окремо взятого об'єкта, незалежно від його типу і виду. Тому рівень безпеки об'єкта протягом всього терміну його експлуатації доцільніше визначати ймовірним показником ризику виникнення аварійної ситуації на ньому.

Згідно з [3] оцінка ймовірного ризику виникнення аварійної небезпеки об'єкта може бути представлена у вигляді:

$$p_{ij_3} = \sum_{Z} F_{Zij} W_{Zij}, \qquad (2)$$

де $p_{ij\ 3}$ – ймовірний показник ризику виникнення аварійної ситуації на об'єкті; F_{zij} – ймовірний показник частоти z-го аварійного процесу і-го типу j-го об'єкта; W_{zij} – ймовірний показник збитків (втрат) внаслідок z-го аварійного процесу і-го типу j-го об'єкта.

Аварійна ситуація, за своєю сутністю, має більшу ймовірність виникнення, ніж спроможність забезпечення об'єкта постійним рівнем граничної (проектної) безпеки *протягом всього часу* його існування. Відмінність значень рівня граничної безпеки і рівня аварійної небезпеки в дійсності буває настільки великою, що саме оцінка ризику аварійної безпеки більш достовірно відображає міру безпеки техногенно небезпечного об'єкта, що залежить від всієї сукупності аварійних сценаріїв, які теоретично можуть мати місце.

З наведеного співвідношення (2) виходить, що прогноз ризику аварійної небезпеки має два аспекти. Перший пов'язаний з *частотним аналізом* можливих аварійних процесів, другий – з *прогнозом збитків* у випадку аварії.

Треба зазначити, що ризик аварійної небезпеки у надзвичайній (нештатній) ситуації може і не спричинити катастрофи, руйнувань тощо. Наприклад, після своєчасного втручання в процес і організації протидії можна звести аварійну ситуацію до мінімуму та перевести техногенно небезпечний об'єкт у штатний режим роботи.

І навпаки, коли ситуація на об'єкті стає безконтрольною, недостатньо оцінити її ризиком аварійної небезпеки, доцільніше для цього ввести додатковий показник – ризик ***критичної*** небезпеки техногенно небезпечного об'єкта (див. рис.1). Тобто це процес, який при досягненні рівня критичної небезпеки виходить з-під контролю і стає некерованим та необоротним. Наслідком є руйнування всього техногенно небезпечного об'єкта або його окремого елемента.

Рівень критичної небезпеки об'єкта є величина стала і має числове значення, притаманне для конкретного техногенно небезпечного об'єкта. Тому оцінювання рівня критичної небезпеки доцільніше проводити за ймовірним показником ризику виникнення критичної ситуації. Ймовірний ризик виникнення критичної небезпеки об'єкта знаходиться в прямій залежності від розвитку аварійної ситуації в цілому.

Прогнозоване значення аварійного і, як результат його можливого розвитку, критичного процесу на техногенному об'єкті можна визначити:

– частотою ймовірних ризиків, що ініціюють аварійний і критичний процеси;

– ймовірністю розвитку аварійного і критичного процесів за певним сценарієм, залежним від іманентних властивостей об'єкта;

– ймовірністю того, що зовнішні або внутрішні щодо об'єкта умови в часовому інтервалі, які відповідають аварійному і критичному процесам, характеризуватимуться певним набором числових характеристик.

Оцінка зони ризику (див. рис. 1), в межи якої потрапляє ймовірність виникнення загрози критичної небезпеки об'єкта, може бути представлена у вигляді:

$$\omega_{ij_4} = \sum_k \left(F_{ij} W_{ij}\right) p_{ij4}\ , \qquad (3)$$

де F_{ij} – ймовірний показник частоти рівня критичної небезпеки і-го типу j-го об'єкта; W_{ij} – ймовірний показник збитків (втрат) і-го типу j-го об'єкта; p_{ij4} – показник ймовірного ризику виникнення критичної небезпеки. Останній показник розраховують за формулою:

$$p_{ij_4} = p_{ij2} p_{ij3}\ . \qquad (4)$$

Для наочності розрахуємо показники, що характеризують ризики небезпеки, на прикладі сховища рідкого ракетного палива, яке має дуже обмежені строки зберігання.

Припустимо, що технологічний показник рівня граничної (проектної) небезпеки об'єкта зберігання рідкого ракетного палива дорівнює $p_2 = 0{,}981$ (див. рис. 2), тоді згідно з [1] розрахунковий показник ризику виникнення аварійної ситуації через 5 років функціонування дорівнюватиме $p_3 1 = 0{,}234$. Показник ризику виникнення критичної ситуації, згідно з формулою (4) дорівнюватиме $p_4 1 = 0{,}229$. Якщо виконати подальші розрахунки, то можна виявити системну закономірність зростання ризику виникнення аварійної та критичної ситуацій на об'єкті від терміну зберігання на ньому рідкого ракетного палива:

– через 10 років $p_2 = 0{,}981$, $p_3 2 = 0{,}387$, тоді $p_4 2 = 0{,}379$;
– через 15 років $p_2 = 0{,}981$, $p_3 3 = 0{,}452$, тоді $p_4 3 = 0{,}434$;
– через 20 років $p_2 = 0{,}981$, $p_3 4 = 0{,}574$, тоді $p_4 4 = 0{,}563$.

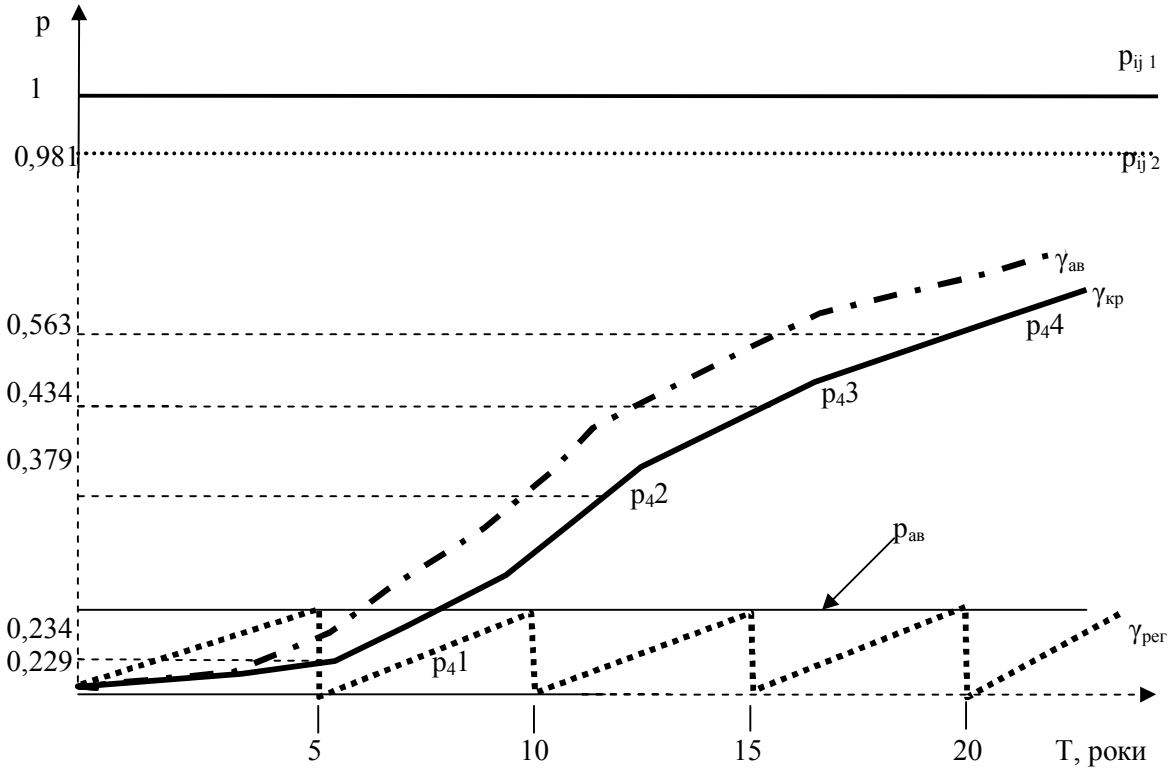

Рис. 2. Графік імовірних ризиків виникнення аварійної і критичної ситуацій на об'єкті зберігання рідкого ракетного палива

На рис. 2 зображені: $\gamma_{ав}$ – крива ймовірного ризику виникнення аварійної ситуації; $\gamma_{кр}$ – крива ймовірного ризику виникнення критичної ситуації; $\gamma_{рег}$ – крива ймовірного ризику виникнення аварійної ситуації після проведення на об'єкті регламентних робіт; $p_{ав}$ – імовірний рівень виникнення аварійної ситуації після 5 років зберігання рідкого ракетного палива.

На процес функціонування техногенно небезпечного об'єкта, наприклад АЕС, впливають як зовнішні (кліматичні, сейсмічні), так і внутрішні (експлуатаційні роботи, закінчення ресурсу зберігання небезпечних речовин, зношеність технологічного обладнання) фактори. Якщо проаналізувати

статистичні дані табл. 1, то більшість аварій виникає через вихід з ладу технологічного обладнання, такого, наприклад, як система охолодження реактора. Для того, щоб звести ризик виникнення аварійної і, як можливий наслідок, критичної ситуацій до мінімуму, на АЕС необхідно жорстко додержуватися графіка проведення профілактичних, регламентних і відновлювальних робіт. Він повинен бути чітко узгодженим з часом імовірного виникнення аварійної, а тим більше, критичної ситуації.

Існує небезпека для штатного функціонування АЕС і з боку терористичних угруповань та у ході локальних збройних конфліктів. Щоб звести до мінімуму можливість пошкодження обладнання АЕС, що може призвести до аварійної або критичної ситуацій, доцільно постійно удосконалювати засоби безпеки, проводити систематизовані профілактичні заходи з перевірки безпеки об'єкта, аналізувати політичну ситуацію як у країні, так і за її межами.

Крім визначення рівнів безпеки і оцінювання імовірних ризиків їх виникнення, для АЕС необхідно прогнозувати наслідки антропогенних катастроф. Це можна зробити шляхом дослідження складних, багатофакторних задач з проведенням великомасштабних експериментальних (практичних) робіт, але такий метод не тільки ускладнений, інколи він може бути неможливим. Тому розроблено декілька методів, заснованих на комп'ютерному моделюванні, які сьогодні є визначальними у прогнозуванні наслідків аварій та техногенних катастроф.

Наприклад, комп'ютерний експеримент [2], побудований на результатах методики оцінювання розташування небезпечних об'єктів та імітаційній математичній моделі, дає можливість оцінити і визначити умови функціонування та уточнити поточні дані щодо місць функціонування АЕС. Це дуже важливо тому, що вони можуть спричинити небезпеку у разі виникнення нестандартних ситуацій.

Методика розрахунку зон безпеки для особового складу підрозділів внутрішніх військ і цивільного населення, що наведена у [3], дає можливість визначити характеристики джерела небезпеки. Крім цього методика дозволяє прогнозувати динаміку аварійних дій та обчислити ймовірні наслідки пожеж, руйнувань та ін. з визначенням рівня і результату дій для реципієнтів ризику, можливих розмірів небезпечних районів. Як результат, виробити пропозиції і рекомендації щодо виходу з таких ситуацій.

Квантифікація небезпеки або кількісна оцінка збитків, заподіяних нею, залежить від багатьох чинників, наприклад, від кількості людей, що знаходились у небезпечній зоні, кількості та якості матеріальних (у тому числі природних) цінностей, що перебували там, природних ресурсів.

З метою уніфікації будь-які наслідки небезпеки на вибухонебезпечних об'єктах можна визначити як шкоду. Кожен її окремий вид має своє кількісне вираження. Наприклад, кількість загиблих, поранених чи хворих, площа зараженої території, площа лісу, що вигорів, вартість зруйнованих споруд тощо. Найбільш універсальний кількісний засіб визначення шкоди – це вартісний, тобто визначення шкоди у грошовому еквіваленті.

Згідно з [4] алгоритм вирішення задачі запобігання надзвичайним ситуаціям будується на припущенні, що ймовірності аварій (руйнувань) можна виразити такою залежністю:

$$d_{ij}(z_{ij} / s_{ij}) = d_{ij}^{0} \exp(-\alpha_{ij}(z_{ij} / s_{ij})) \qquad (5)$$

де d_{ij}^{0} – імовірність аварії (руйнування) і-го типу на j-му об'єкті при відсутності витрат на запобігання аварії (руйнування); s_{ij} – загальна вартість вибухонебезпечних речовин і-го типу, що зберігаються на j-му об'єкті; z_{ij} – вартість заходів, що знижують імовірність виникнення аварії (руйнування) і-го типу на j-му об'єкті до практично припустимої (відповідної до рівня прийнятого ризику $d_{ij}^{\text{прип}}$); α_{ij} – константа, що визначається за формулою $\alpha_{ij} = \ln \frac{d_{ij}^{0}}{d_{ij}^{\text{прип}}}$.

Відповідність цільової функції умові опуклості дозволяє використати для рішення задачі аналітичний метод опуклого програмування – метод невизначених множників Лагранжа, і уникнути ітераційної процедури. В цьому випадку алгоритм вирішення прямої задачі оптимізації (при заданих обмеженнях на ресурси) [4] зводиться до розрахунку елементів матриці оптимального плану розподілу ресурсів $Z = \|z_{ij}\|_{m \times n}$ за такими формулами:

$$z_{ij} = \frac{s_{ij}}{\alpha_{ij}} \ln\left(\frac{\alpha_{ij} w_{ij} d_{ij}^{0}}{\lambda \cdot s_{ij}}\right), \quad i = 1Km, \; j = 1Kn,$$

$$\lambda = \exp\left(\frac{F1 - F3 - SF^{\text{бюдж}}}{F2}\right),$$

де w_{ij} – шкода від аварії (руйнування) і-го типу на j-му об'єкті при відсутності витрат на запобігання аварії (руйнування); $F1, F2, F3$ – відповідні суми констант у виразі

$$SF = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\frac{s_{ij}}{\alpha_{ij}}\left(\ln\left(\alpha_{ij} w_{ij} d_{ij}^{0}\right) - \ln\lambda \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\frac{s_{ij}}{\alpha_{ij}} - \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\frac{s_{ij}}{\alpha_{ij}}\ln s_{ij}\right).$$

Результати вирішення задачі запобігання аварійним і критичним ситуаціям на техногенно небезпечних об'єктах з урахуванням прийнятих обмежень на ресурси є таким планом розподілу ресурсів по цих об'єктах, при якому досягається максимальна ефективність їх використання. Отримані результати можуть представляти практичну цінність у процесі планування заходів з підвищення надійності, наприклад, функціонування АЕС.

Висновки

1. Ризик виникнення нештатної ситуації на техногенно небезпечному об'єкті доцільно оцінювати не тільки загальноприйнятими частковими показниками гарантованого (теоретичного) і граничного (проектного) рівнів безпеки, що не завжди відповідає дійсності, а й інтегрованими показниками ризику виникнення аварійної і, як можливий наслідок, критичної ситуації.
2. Для зниження ризику виникнення нештатної ситуації необхідно проводити попереджувальні, профілактичні та відновлювальні роботи, що узгоджені з часовим графіком можливого виникнення аварійної і критичної ситуацій на об'єкті.
3. При плануванні заходів запобігання нештатним ситуаціям оптимізацію розподілу ресурсів доцільно здійснювати за критерієм прогнозу ймовірного ризику виникнення критичної небезпеки об'єкта до прогнозованих збитків.

Таким чином, методика оцінювання ризиків виникнення аварійної і критичної ситуацій дає можливість завчасно їх прогнозувати на техногенно небезпечних об'єктах та сприяти підвищенню ефективності режимів зберігання.

Список використаних джерел

1. Бодрик Ю. Г. Оцінка ризику і розрахунок оптимального розподілу ресурсів при захисті об'єктів зберігання компонентів рідкого ракетного палива / Ю. Г. Бодрик // зб. наук. праць ННДЦ ОТ і ВБ України.– Вип. 6. – К., 2001. – С. 103–111.
2. Бутенко О. А. Принципи побудови автоматизованої інформаційної системи моніторингу баз, складів, арсеналів та інших потенційно небезпечних об'єктів у Повітряних Силах / О. А. Бутенко, Г. А. Дробаха, В. П. Варакута // зб. наук. праць Об'єднаного н.-д. ін-ту Збройних Сил України. – Вип. 1. – Х., 2005. – С. 59–68.
3. Колодкин В. М. Компьютерное моделирование в решении задач прогнозирования последствий аварий на техногенных объектах / В. М. Колодкин. – М. : Наука, 2007. – С. 27–34.
4. Бодрик Ю. Г. Оптимальне управління силами та засобами запобігання і ліквідації наслідків техногенних надзвичайних ситуацій за макроекономічним критерієм відвернутої шкоди / Ю. Г. Бодрик // зб. наук. праць ННДЦ ОТ і ВБ України. – Вип. 5. – К. – 2001. – С. 241–247.

Стаття надійшла до редакції 16.10.2008 р.