

# Досвід проведення військових місій та операцій з врегулювання кризових ситуацій

УДК 621.039.5; 623.45; 662.14

DOI: 10.30748/nitps.2019.34.15

В.П. Варакута<sup>1</sup>, Т.В. Хліманцов<sup>1</sup>, С.О. Стародубцев<sup>2</sup>, С.Д. Пташка<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Військовий інститут танкових військ Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”, Харків*

<sup>2</sup> *Національна академія Національної гвардії України, Харків*

## ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ 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 небезпечних речовин, визначені рівні безпеки і показники ризиків виникнення аварійних і, як можливий наслідок, критичних ситуацій на цих об’єктах. Визначено заходи запобігання надзвичайним ситуаціям на техногенно-небезпечних об’єктах.*

**Ключові слова:** *рівні ризиків, показники ризиків, боєприпаси, атомна електростанція, гарантована, повна, аварійна і критична безпека, штатна і позаштатна ситуація, ймовірність і прогнозування втрат і збитків.*

### Вступ

**Постановка проблеми.** За сучасних умов однією з найбільш пріоритетних задач, що виникають перед країнами світу, у тому числі і Україною, є забезпечення сталого соціально-економічного розвитку, який характеризується високою якістю довкілля і здоровою економікою. Тому виявлення загроз, пов’язаних з впливом на найважливіші показники розвитку держави, оцінка ризику і удосконалення способів забезпечення безпеки є актуальними напрямками досліджень. Необхідність вирішення таких завдань стосується і сфери забезпечення захисту від наслідків надзвичайних ситуацій, обумовлених руйнуванням або аваріями на техногенно-небезпечних об’єктах [1]. 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 (ТНО), можливість їх безаварійного функціонування.

Заглянемо в історію розвитку, наприклад, атомної енергетики США, колишнього СРСР та України, і переконаємось, що аварії на атомних електростанціях (АЕС) почалися одразу ж після їх появи (табл. 1).

Катастрофа, що сталася в Україні у 1986 р. на Чорнобильській АЕС, потребувала багатомільярдні витрати на дезактивацію промислової зони, створення саркофагу над четвертим реактором, відсе-

лення величезної кількості мешканців міста та навколишніх сіл і хуторів та визначення десяти- та тридцяти кілометрової зони відчуження навколо об’єкту. Повністю була порушена інфраструктура цілого району, що знаходиться у центрі країни. За приблизними розрахунками загинуло і постраждало від цієї катастрофи більш ніж 400 тис. осіб у десяти країнах Європи і Канади. Суттєво погіршився екологічний стан довкілля.

Землетрус в Японії став причиною збою електропостачання на атомній станції Фукусіма з шістьма атомними енергоблоками. Цунамі затопило резервні дизельні генератори, і станція залишилася без електропостачання, яке необхідне для роботи системи охолодження реакторів. У результаті ядерне паливо 1, 2 і 3 реакторів почало плавитися. Через скупчення водню в приміщеннях, де розташовувалися реактори, сталися руйнівні вибухи.

Ядерній аварії був привласнений сьомий – найвищий рівень за міжнародною шкалою ядерних подій (International Nuclear Event Scale – INES).

За розрахунками Агентства ядерної і промислової безпеки Японії (Nuclear and Industrial Safety Agency – NISA), кількість радіоактивного цезію-137, викинутого в атмосферу за час аварії, можна порівняти з 168 бомбами, скинутими на Хіросіму у 1945 р.

На Фукусімі-1 іонізуючого випромінювання було у 20 разів більше, ніж після аварії на Чорнобильській АЕС.

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, наслідком яких є значні матеріальні збитки та загибель військовослужбовців, а інколи і цивільного населення. Яскравими прикладами є надзвичайні ситуації, що сталися в Україні на складах боєприпасів ракетно-артилерійського озброєння:

– 10.10.2003 р. пожежа в 52-й окремій механізованій бригаді (м. Артемівськ (Бахмут) Донецької обл.);

– пожежі 6.05.2004, 23.07.2005 і 9.08.2006 та мимовільні вибухи снарядів 18.05.2007 р. у сховищах зберігання артилерійських боєприпасів (с. Новобогданівка Запорізької обл.);

– 27.08.2008 р. пожежа у 61-му арсеналі Південного оперативного командування Сухопутних військ (м. Лозова Харківської обл.);

– 29.10.2015 р. пожежа на складах з боєприпасами у м. Сватово Луганської обл.;

– 23.03.2017 р. пожежа (версія – підпал) на арсеналі боєприпасів м. Балаклея Харківської обл.;

– 26.09.2017 р. пожежа (версія – зовнішній вплив) на арсеналі Збройних Сил України (м. Калинівка Вінницької обл.);

– 9.10.2018 р. вибухи боєприпасів (версія – халатне виконання службових обов'язків) на 6-му арсеналі Міністерства оборони України (с. Дружба Ічнянського району Чернігівської обл.).

Таблиця 1

## Аварії на атомних електростанціях

№ п\п	Країна і місто	Дата аварії	Причини аварії	Наслідки
1	2	3	4	5
<b>США</b>				
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 на реакторі	Забруднення території АЕС
3	м. Айдахо-Фолс, (шт. Айдахо)	3.01.1961 р.	Вибух пару на експериментальному реакторі	Загинуло троє людей
4	Біля м. Детройту	5.11.1966 р.	Вихід з ладу системи охолодження на реакторі "Енрико Ферми"	Забруднення території АЕС
5	м. Монтжелло (шт. Міннесота)	19.11.1971 р.	Пошкодження сховища	200 тис. літрів забрудненої радіоактивними речовинами води витекло у річку Міссісіпі, 100 чол. отримали опромінювання
6	АЕС "Тримайл-Айленд"	28.03.1979 р.	Втрата охолодження реактора	Забруднення повітря радіоактивними газами і рідкими відходами річки Сукуахана, евакуація населення
7	м. Ервінг (шт. Тенісі)	7.08.1979р.	Викид високозбагаченого урану з заводу по виготовленню ядерного палива	Біля 1000 чол. отримали дозу опромінювання в шість разів більше норми
8	м. Рочестер	25.01.1982 р.	Пошкодження труби парогенератора на реакторі "Джина"	Викид радіоактивного пару до атмосфери
9	м. Онтаріо (шт. Нью-Йорк)	30.01.1982 р.	Аварія в системі охолодження реактора	Викид радіоактивних речовин до атмосфери
10	АЕС "Самер-Плант"	28.02.1985 р.	Передчасно досягнута критичність, тобто мав місце некерований ядерний розгін	
11	АЕС "Індіан-Пойнт-2" поблизу Нью-Йорка	18.05.1985 р.	Витік радіоактивної води	Витік декілька десятків галонів радіоактивної води за межі території АЕС
12	Уэбберг-Фолс	1986 р.	Вибух резервуару з радіоактивним газом на заводі збагачення урану	Загинула одна людина, травмовано – вісім чоловік
<b>СРСР</b>				
1	м. Мелекес	7.05.1966 р.	Розгін на миттєвих нейтронах на АЕС з кип'яченим ядерним реактором	Отримали опромінювання дозиметрист і начальник зміни

Закінчення табл. 1

1	2	3	4	5
2	АЕС Білоярська	1964 – 1979р.р.	Неодноразові руйнування (перепал) паливних зборок активної зони на першому блоці	Отримали опромінювання експлуатаційний персонал
3	АЕС Ленінградська	7.01.1974р.	Вибух залізобетонного газгольдеру видержки радіоактивних газів на першому блоці	
4	АЕС Ленінградська	6.02.1974р.	Розрив проміжного контуру на першому блоці	Троє загиблих. Високоактивні води з пульпою фільтропорошку були скинуті до зовнішнього середовища
5	АЕС Ленінградська	10.1975р.	На першому блоці часткове зруйнування активної зони (“локальний козел”)	До атмосфери потрапило біля 1,5 мільйона кюрі високоактивних радіонуклідів
6	АЕС Білоярська	1977р.	Розплавлення половини зборок активних зон на другому реакторі	Отримали опромінювання експлуатаційний персонал
7	АЕС Білоярська	31.12.1978р.	Згорів другий блок	Отримали опромінювання вісім чол.
8	АЕС Вірменська	10.1982р.	Вибух генератора на першому блоці, згорів машинний зал, персонал АЕС в паніці розбігся	Пошкодження ліквідувала оперативна група з Кольської АЕС
9	АЕС Балаківська	27.06.1985р.	Аварія на першому блоці	Загинуло 14 чол.
<b>Японія</b>				
1	АЕС Фукусіма-1	11.03.2011р.	Розплавлення активної зони реакторів на енергоблоках 1, 2 і 3	Катастрофа світового масштабу Загинуло під час аварії 1605 чол. У подальшому загинуло більше 13 тис. чол.; 14,5 – зникли безвісті
<b>Україна</b>				
1	АЕС Чорнобильська	09.1982р.	Руйнування центральної паливної зборки на 1-му блоці із-за помилкових дій обслуговуючого персоналу	Викид радіоактивних речовин на промислову зону і м. Прип’ять, а також отримали опромінювання ремонтний персонал під час ліквідації “малого козла”
2	АЕС Чорнобильська	1986р.	Вибух четвертого реактору	Катастрофа світового масштабу

За даними статистики на більш ніж 200 військових складах зберігається близько 2 млн. т боєприпасів. Негайної утилізації потребують біля 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 на 2008 рік закінчився ресурс зберігання 10–15 тис. т боєприпасів, а на поточний рік – ще 15–20 тис. т. При цьому, останні поставки боєприпасів, наприклад, для Збройних Сил України і для МВС України, датуються 1989–1990 р., й з цієї дати нових значних поставок боєприпасів та зброї не було.

Події на сході країни змусили в цьому році український військово-промисловий комплекс (ВПК) у прискореному режимі почати поставку армії новітніх зразків зброї і боєприпасів.

Проте можна впевнено стверджувати, що достатньо велика кількість боєприпасів, що знаходять-

ся на складах різних силових структур країни, 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 [1]. Своєчасне виявлення загроз, їх оцінювання та удосконалення методів забезпечення безпеки ТНО є актуальними напрямками досліджень.

Доцільність виконання цих завдань стосується забезпечення захисту від наслідків надзвичайних ситуацій, обумовлених руйнуваннями або аваріями на техногенно-небезпечних об’єктах [2].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Враховуючи масштаби наслідків руйнувань, ефективність попереджувальних заходів на ТНО доцільно визначати за допомогою відповідного показника *ризик* як імовірності виникнення на них небезпеки.

Аварії і катастрофи, що мали місце в країнах світу, призвели до перегляду загальноприйнятої концепції безпеки, пов'язаної з ТНО. Згідно з цієї концепцією право на існування мають ті об'єкти, які безпечні для населення та навколишнього природного середовища [3]. Аварії і катастрофи, що мали місце в країнах світу, призвели до перегляду загальноприйнятої концепції безпеки, пов'язаної з ТНО. 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 та 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 формажорної обставини під час функціонування об'єкта у штатному режимі [4–6].

Процес перегляду цієї концепції особливо активізувався після аварії на Чорнобильській АЕС і Фукусімі-1. Прийшло розуміння, що будь-який, навіть самий довершений техногенний об'єкт не захищений від аварій і є носієм небезпеки певного рівня [7].

Важливими характеристиками безпеки є:

- ймовірна *частота* її виникнення;
- *рівень* безпеки – ймовірне значення моменту функціонування об'єкту, до меж якого забезпечується штатний режим;
- *зона ризику* – розрахунковий нижній і верхній рівні функціонування об'єкта, в межах яких може початися нештатна ситуація.

Після ряду аварій на АЕС США (табл. 1) у суспільній свідомості концепція оцінки ймовірного рівня *гарантованої* (*повної*) безпеки об'єкта, замінюється концепцією оцінки ймовірного рівня *граничної* (*проектної*) безпеки ( $\rho_{ij2}$ ) об'єкта (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. Ця 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 запропонувала 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 оде-

ржала 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 застосовні для прогнозування наслідків тільки типових аварійних ситуацій і лише на типових ТНО [3].

У [9] 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 радіаційних і хімічних небезпечних об'єктах на основі математичного та комп'ютерного моделювання і прогнозування техногенного забруднення навколишнього середовища, методи оцінки 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, агресивних хімічних речовин або АЕС.

**Метою статті** є ідентифікація небезпеки, джерелом якої є об'єкти зберігання вибухових та інших небезпечних речовин, 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 небезпечних речовин.

## Виклад основного матеріалу

Однією з “близьких плям” сучасної теорії надійності, заснованої на класичних імовірнісних методах, є неможливість адекватно точного передбачення моменту виникнення відмови як випадкової події. Бо моменту відмови об'єкта (особливо тривалого використання) зазвичай передують складні внутрішні зміни. Ці зміни можуть по-різному проявлятися в залежності від типу об'єкта, місця та характеру відмови.

В загальному випадку прогнозування всіх вказаних частот (ймовірностей) є незалежним. При оціню-

ванні 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 оцінки і т.ін.

Показник ймовірного рівня *гарантованої* або *повної* ( $\rho_{ij1}$ ) 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:

$$\rho_{ij1} = \left( \frac{n_{ij}}{N_{ij}} \right) \times \lambda, \quad (1)$$

де  $\rho_{ij1}$  = від 0,999... 1

$$\lambda = t_1/t_2,$$

де  $t_1$  – період часу, за який здійснюються події з небажаними наслідками;  $t_2$  – період часу, за який може здійснитись максимальна кількість подій.

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

На рис. 1. позначено:  $\rho_{ij}$  – ймовірні рівні безпеки АЕС;  $T$  – тривалість штатного функціонування;  $\rho_{ij1}$  – ймовірний рівень повної (гарантованої) безпеки;  $\rho_{ij2}$  – ймовірний рівень граничної безпеки;  $\rho_{ij3}$  – ймовірний рівень аварійної безпеки;  $\rho_{ij4}$  – ймовірний рівень критичної безпеки АЕС;  $\gamma_1$  – крива ризику безпеки при тривалому (десятиків років) штатному функціонуванні;  $\gamma_2$  – крива ризику аварійної безпеки з виходом на штатний режим;  $\gamma_3$  – крива ризику критичної небезпеки з виходом на нештатний режим;  $\omega_{ij4}$  – зона ризику виникнення критичної небезпеки.

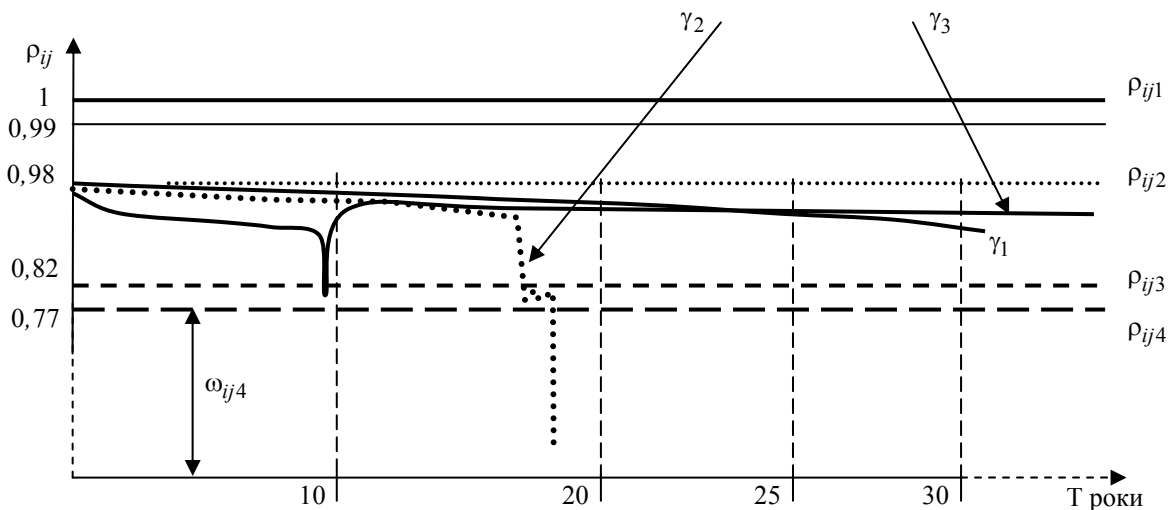


Рис. 1. Графік умовних рівнів безпеки функціонування АЕС (для наочності наведені умовні кількісні показники рівнів безпеки об'єкта)

У групу можуть входити, наприклад, експлуатаційний персонал АЕС або транспортні засоби одного типу, одного класу суб'єктів господарської діяльності тощо. Зміна концепції гарантованої безпеки об'єкта на концепцію його граничної безпеки викликала необхідність чисельного вимірювання різних рівнів безпеки ТНО з метою управління цими рівнями, що припускає пошук технологічних, конструкторських, архітектурних, організаційних і інших рішень, що забезпечують зменшення величини небезпеки до прийнятної (гарантованої) рівня.

Звичайно рівень безпеки ТНО, що функціонує у штатному, передбаченому проектом режимі, незрівнянно вищий за рівень безпеки ТНО, на якому виникла нештатна, аварійна ситуація. Тому оцінка

ймовірного рівня аварійної небезпеки (рис. 1) має більш точні значення, ніж оцінка рівня граничної (проектної) безпеки об'єкта, що функціонує у штатному режимі. Треба усвідомити, що рівень аварійної небезпеки ТНО є величина стала і 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 *ризик* виникнення аварійної ситуації на ньому.

Згідно з [8] оцінка ймовірного ризику виникнення *аварійної* небезпеки об'єкта може бути представлена у вигляді:

$$p_{ij3} = \sum_Z F_{Zij} \times W_{Zij}, \quad (2)$$

де  $\rho_{ij3}$  – ймовірний показник ризику виникнення аварійної ситуації на об'єкті;  $F_{zij}$  – ймовірний показник частоти  $z$ -го аварійного процесу  $i$ -го типу  $j$ -го об'єкта;  $W_{zij}$  – ймовірний показник збитків (втрат) внаслідок  $z$ -го аварійного процесу  $i$ -го типу  $j$ -го об'єкта.

Аварійна ситуація, за своєю суттю, має більшу ймовірність виникнення, ніж спроможність забезпечення об'єкта постійним рівнем граничної (проектної) безпеки протягом всього часу його існування (експлуатації). Відмінність значень рівня граничної безпеки і рівня аварійної небезпеки в дійсності буває настільки великою, що саме оцінка ризику аварійної небезпеки більш достовірно відображає міру безпеки ТНО, 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 безпеки у надзвичайній (нештатній) ситуації може і не спричинити руйнувань, катастрофи тощо. Наприклад, після своєчасного втручання в процес і організації протидії можна звести аварійну ситуацію до мінімуму та перевести ТНО 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 ТНО (рис. 1). Тобто, це процес, який при досягненні рівня критичної небезпеки виходить з-під контролю і стає некерованим та необоротним. Наслідком є руйнування всього ТНО або його окремих елементів. Рівень критичної небезпеки об'єкта є величиною сталою і має числове значення, притаманне для конкретного ТНО. 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 іма-  
нентних 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 (рис. 1), в межах якої потрапляє ймовірність виникнення загрози критичної небезпеки об'єкта, може бути представлена у вигляді:

$$\omega_{ij4} = \sum_k (F_{ij} \times W_{ij}) \rho_{ij4}, \quad (3)$$

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

$$\rho_{ij4} = \rho_{ij2} \times \rho_{ij3}. \quad (4)$$

Для наочності розрахуємо показники, що характеризують ризики небезпеки, на прикладі об'єкту зберігання агресивної хімічної речовини, такої як компоненти рідкого ракетного палива зенітно-ракетних комплексів ППО (С-200), які мають обмежені строки зберігання.

Припустимо, що технологічний показник рівня граничної (проектної) небезпеки об'єкту зберігання компонентів рідкого ракетного палива дорівнює  $\rho_2 = 0,981$  (рис. 2), тоді згідно [1] розрахунковий показник ризику виникнення аварійної ситуації через 5 років функціонування дорівнюватиме  $\rho_{31} = 0,234$ . Показник ризику виникнення критичної ситуації згідно з формулою (4) дорівнюватиме  $\rho_{41} = 0,229$ . Якщо виконати подальші розрахунки, то можна виявити системну закономірність зростання ризику виникнення аварійної та критичної ситуації на об'єкті від терміну зберігання на ньому компонентів рідкого ракетного палива:

– через 10 років  $\rho_2 = 0,981$  – згідно [1]  $\rho_{32} = 0,387$ , тоді  $\rho_{42} = 0,379$ ;

– через 15 років  $\rho_2 = 0,981$  – згідно [1]  $\rho_{33} = 0,452$ , тоді  $\rho_{43} = 0,434$ ;

– через 20 років  $\rho_2 = 0,981$  – згідно [1]  $\rho_{34} = 0,574$ , тоді  $\rho_{44} = 0,563$ .

На процес функціонування ТНО, візьмемо для прикладу АЕС, впливають як зовнішні (кліматичні, сейсмічні), так і внутрішні (експлуатаційні роботи, закінчення ресурсу зберігання небезпечних речовин, зношеність технологічного обладнання) фактори.

Якщо проаналізувати статистичні данні табл. 1, то більшість аварій виникає через вихід з ладу технологічного обладнання, такого, наприклад, як система охолодження реактору. 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;  $\rho_{ав}$  – ймовірний рівень виникнення аварійної ситуації після 5 років зберігання компонентів рідкого ракетного палива.

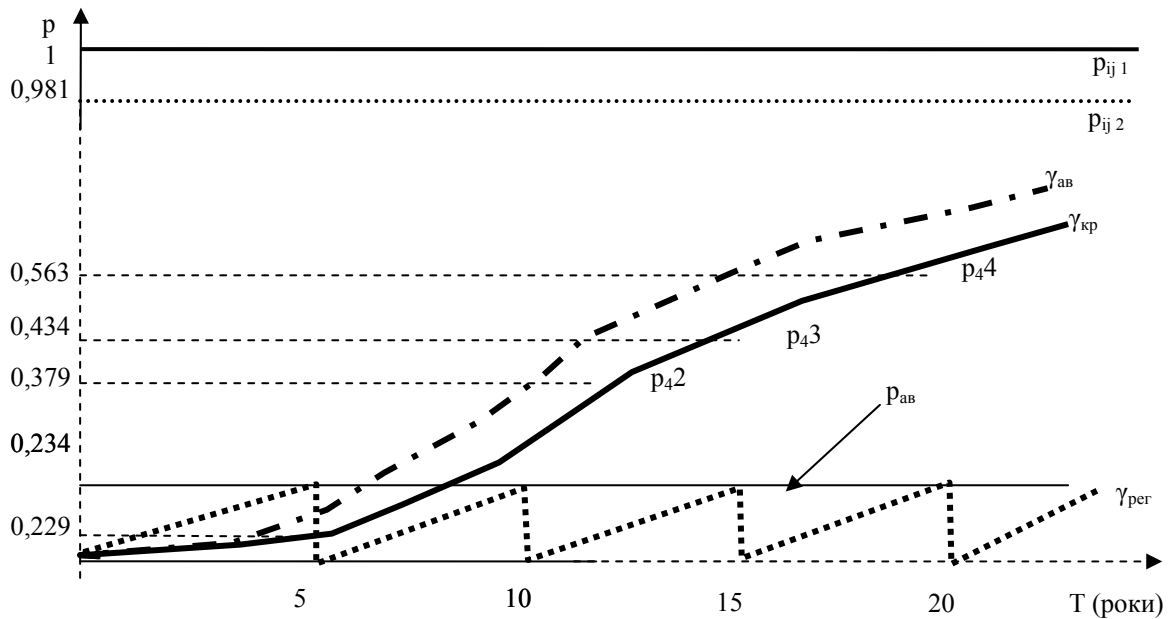


Рис. 2. Графік імовірних ризиків виникнення аварійної і критичної ситуації на об'єкті зберігання компонентів рідкого ракетного палива

Для того, щоб звести ризик виникнення аварійної і, як можливий наслідок, критичної ситуації до мінімуму, на АЕС необхідно жорстко дотримуватися графіка проведення профілактичних, регламентних і відновлювальних робіт [10–11]. Він повинен бути чітко узгодженим з часом імовірного виникнення аварійної, а тим більш, критичної ситуації.

Існує небезпека для штатного функціонування АЕС і з боку терористичних угруповань та у ході локальних збройних конфліктів [12]. Щоб звести до мінімуму можливість пошкодження обладнання АЕС, що може привести до аварійної або критичної ситуації, 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, багатofакторних 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 [4], побудований на результатах методики оцінювання розташування небезпечних об'єктів та імітаційній математичній моделі, дає можливість оцінити і визначити умови функціонування та уточнювати 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 обслуговуючого персоналу і цивільного населення, що наведена у [8], дає можливість визначити характеристики джерела небезпеки. Крім цього методика дозволяє прогнозувати динаміку аварійних дій та обчислити імовірні 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 і природних ресурсів.

З метою уніфікації будь-які наслідки небезпеки на ТНО можна визначити як шкоду. Кожен окремих вид шкоди 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 [9] алгоритм вирішення задачі запобігання надзвичайним ситуаціям будується на припущенні, що ймовірності аварій (руйнувань) можна виразити такою залежністю:

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

де  $d_{ij}^0$  – імовірність аварії (руйнування)  $i$ -го типу на  $j$ -му об'єкті при відсутності витрат на запобігання аварії (руйнування);  $s_{ij}$  – загальна вартість безпеки

чних 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  $d_{ij}^{don}$ );  $\alpha_{ij}$  – константа,

що визначається за формулою  $\alpha_{ij} = \ln \frac{d_{ij}^0}{d_{ij}^{don}}$ .

Відповідність цільової функції умові опуклості дозволяє використати для рішення задачі аналітичний метод опуклого програмування – метод невідзначених множників Лагранжа і уникнути ітераційної процедури. В цьому випадку алгоритм вирішення прямої задачі оптимізації (при заданих обмеженнях на ресурси) [9] зводиться до розрахунку елементів матриці оптимального плану розподілу ресурсів

$Z = \left\| z_{ij} \right\|_{m \times n}$  за такими формулами:

$$z_{ij} = \frac{s_{ij}}{\alpha_{ij}} \cdot \ln \left( \frac{\alpha_{ij} \cdot w_{ij} \cdot d_{ij}^0}{\lambda \cdot s_{ij}} \right), i = 1 \dots m, j = 1 \dots n,$$

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

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

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

## Список літератури

1. Варакута В.П. Безпека військової діяльності / В.П. Варакута, Г.А. Дробаха, М.В. Петренко. – Х.: ХВУ, 2004. – 96 с.
2. Бодрик Ю.Г. Оцінка ризику і розрахунок оптимального розподілу ресурсів при захисті об'єктів зберігання компонентів рідкого ракетного палива / Ю.Г. Бодрик. – К.: ЗНП ННДЦ ОТ і ВБ України. – 2001. – Вип. 6. – С. 103-111.
3. Кошель А.В. Метод обработки временных рядов, характеризующих изменения параметров сложной техники в процессе эксплуатации / А.В. Кошель, Д.В. Дяченко, В.П. Варакута // Системы обработки информации. – Х.: ХУПС, 2005. – Вип. 7 (47). – С. 203-206.
4. Бутенко О.А. Принципы построения автоматизированной информационной системы мониторинга баз, складов, арсеналов та інших потенційно небезпечних об'єктів у Повітряних Силах / О.А. Бутенко, В.П. Варакута, Г.А. Дробаха // Збірник наукових праць об'єднаного науково-дослідного інституту Збройних Сил. – Х.: ОНДІ, 2005. – Вип. 1 (1). – С. 59-68.
5. Дяченко Д.В. Метод оптимального разнесения моментов начала прогнозирования и оценки качества функционирования сложных военно-технических систем / Д.В. Дяченко, А.В. Кошель, Д.Б. Жуйков // Збірник наукових праць ХУПС. – Х.: ХУПС, 2006. – Вип. 6 (12). – С. 70-74.
6. Варакута В.П. Визначення рівнів безпеки і оцінювання ризиків виникнення нештатних ситуацій на техногенно-небезпечних об'єктах / В.П. Варакута // Збірник наукових праць Акад. ВВ МВС України. – Х.: Акад. ВВ МВС України, 2008. – Вип. 2. – С. 4-11.
7. Дяченко Д.В. Спосіб обробки вимірювальних даних системи сейсмічного групування для вирішення завдань безперервного моніторингу потенційних джерел надзвичайних ситуацій / Д.В. Дяченко, О.І. Солонець, В.О. Самарін // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2013. – Вип. 18. – С. 55-62.
8. Колодкин В.М. Компьютерное моделирование в решении задач прогнозирования последствий аварий на техногенных объектах / В.М. Колодкин. – М.: Наука, 2007. – С. 27-34.
9. Бодрик Ю.Г. Оптимальное управление силами та засобами запобігання і ліквідації наслідків техногенних надзвичайних ситуацій за макроекономічним критерієм відвернутої шкоди / Ю.Г. Бодрик // Збірник наукових праць ННДЦ ОТ і ВБ України. – К.: ННДЦ ОТ і ВБ України, 2001. – Вип. 5. – С. 241-247.

Результати вирішення задачі запобігання аварійним і критичним ситуаціям на ТНО 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 плануванні заходів з підвищення надійності, у даному випадку, функціонування АЕС або сховищ зберігання небезпечних матеріалів.

## Висновки

1. Ризик виникнення нештатної ситуації на ТНО доцільно визначати 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 ситуації на об'єкті.

3. При плануванні заходів щодо запобігання нештатним ситуаціям оптимізацію розподілу ресурсів доцільно здійснювати за критерієм прогнозу ймовірного ризику виникнення критичної небезпеки об'єкта до прогнозованих збитків.

Таким чином, даний спосіб визначення ризиків виникнення аварійної і критичної ситуації дає можливість завчасно їх прогнозувати на ТНО і сприяти підвищенню ефективності режимів існування, зберігання та експлуатації.



10. Дяченко Д.В. Методика проведення досліджень по оцінці пожежної небезпечності (горючості) огнезащитних покриттів / Д.В. Дяченко, С.Ю. Рагімов // Проблеми пожежної безпеки. – 2016. – Вип. 39. – С. 217-222.
11. Дяченко Д.В. Виявлення сейсмічного сигналу від землетрусу з осередком у підконтрольній сейсмоактивній зоні за результатом аналізу першого вступу / Д.В. Дяченко, Ю.О. Гордієнко, В.А. Гузенко // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2013. – Вип. 18. – С. 48-54.
12. Онищенко С.І. Підходи до вибору критеріїв оцінювання якості прикриття важливих державних об'єктів / С.І. Онищенко, Д.В. Дяченко, О.М. Жарик // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2011. – № 1(5). – С. 4-7.

## References

1. Varakuta, V.P., Drobakha, H.A. and Petrenko, M.V. (2004), "Bezpeka viys'kovoyi diyal'nosti" [Safety of military activities], Kharkiv Military University, 96 p.
2. Bodryk, Yu.H. (2001), "Otsinka ryzyku i rozrakhunok optimal'noho rozpodilu resursiv pry zakhysti ob'yektiv zberhannya komponentiv ridkoho raketnoho palyva" [Risk assessment and calculation of optimal allocation of resources during protection of objects of storage of components of liquid rocket fuel], *ZNP NNDTS OT i VB Ukrainy*, No. 6, pp. 103-111.
3. Varakuta, V.P., Koshel, A.V. and Dyachenko, D.V. (2005), "Metod obrabotki vremennykh ryadov, kharakterizuyushchikh izmeneniya parametrov slozhnoy tekhniki v protsesse ekspluatatsii" [The method of processing time series, characterizing changes in the parameters of complex equipment in the process of exploitation], *Information Processing Systems*, No. 7 (47), pp. 203-206.
4. Varakuta, V.P., Butenko, O.A. and Drobakha, H.A. (2005), "Pryntsypy pobudovy avtomatyzovanoi informatsiyanoi systemy monitorynhu baz, skladiv, arsenaliv ta inshykh potentsiyno nebezpechnykh ob'yektiv u Povitryanykh Sylakh" [Principles of construction of automated information system for monitoring of bases, warehouses, arsenals and other potentially dangerous objects in the Air Forces], *Collecton of scientific papers of Joint scientific research institute Armed forces Ukraine*, No. 1(1), pp. 59-68.
5. Koshel, A.V., Dyachenko, D.V. and Zhuykov, D.B. (2006), "Metod optimal'nogo razneseniya momentov nachala prognozirovaniya i otsenki kachestva funktsionirovaniya slozhnykh voyenno-tekhnicheskikh sistem" [The method of optimal separation of the moments of the beginning of forecasting and assessing the quality of functioning of complex military technical systems], *Scientific Works of Kharkiv National Air Force University*, No. 6 (12), pp. 70-74.
6. Varakuta, V.P. (2008), "Vyznachennya rivniv bezpeky i otsinyuvannya ryzykiv vynykennya neshtatnykh sytuatsiy na tekhnogenno-nebezpechnykh ob'yektakh" [Determination of safety levels and assessment of risks of emergencies of unusual situations on technogenically hazardous facilities], *Collecton of scientific papers of Academy of internal Ukraine*, No. 2, pp. 4-11.
7. Dyachenko, D.V., Solonets, O.I. and Samarin, V.O. (2013), "Sposib obrobky vymiryuval'nykh danykh systemy seysmichnoho hrupuvannya dlya vyrishennya zavdan bezperervnoho monitorynhu potentsiynykh dzherel nadzvychaynykh sytuatsiy" [A method of processing the measurement data of a seismic grouping system for solving the problems of continuous monitoring of potential sources of emergencies], *Emergency issues*, No. 18, pp. 55-62.
8. Kolodkin, V.M. (2007), "Komp'yuternoye modelirovaniye v reshenii zadach prognozirovaniya posledstviy avariya na tekhnogennykh ob'yektakh" [Computer modeling in solving problems of predicting the consequences of accidents at man-made objects], Nauka, Moscow, pp. 27-34.
9. Bodryk, Yu.H. (2001), "Optymal'ne upravlinnya sylamy ta zasobamy zapobihannya i likvidatsiyi naslidkiv tekhnogennykh nadzvychaynykh sytuatsiy za makroekonomichnym kryteriyem vidvernutoyi shkody" [Optimal management of forces and means of prevention and liquidation of the consequences of man-made emergencies on the macroeconomic criterion of reversed damage], *Collecton of scientific papers NNDTS OT i VB Ukrainy*, No. 5, pp. 241-247.
10. Ragimov, S.Yu. and Dyachenko, D.V. (2016), "Metodika provedeniya issledovaniy po otsenke pozharney opasnosti (goryuchesti) ognезashchitnykh pokrytyy" [Methods of conducting studies to assess the fire hazard (flammability) of fire retardant coatings], *Fire safety issues*, No. 39, pp. 217-222.
11. Dyachenko, D.V., Hordiyenko, Yu.O. and Huzenko, V.A. (2013), "Vyyavlennya seysmichnoho syhnalu vid zemletrusu z oseredkom u pidkontrol'niy seysmoaktyvniy zoni za rezul'tatom analizu pershoho vstupu" [Detection of a seismic signal from an earthquake with a cell in a controlled seismic zone based on the analysis of the first entry], *Emergency issues*, No. 18, pp. 48-54.
12. Onyshchenko, S.I., Dyachenko, D.V. and Zharyk, O.M. (2011), "Pidkhody do vyboru kryteriyiv otsinyuvannya yakosti prykryttya vazhlyvykh derzhavnykh ob'yektiv" [Approaches to the selection of criteria for assessing the quality of coverage of important state facilities], *Science and Technology of the Air Force of Ukraine*, No. 1(5), pp. 4-7.

Надійшла до редколегії 28.11.2018

Схвалена до друку 20.12.2018

### Відомості про авторів:

#### Варакута Володимир Павлович

кандидат військових наук доцент  
доцент кафедри  
Військового інституту танкових військ НТУ "ХПІ",  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-5759-8758>

### Information about the authors:

#### Vladimir Varakuta

Candidate of Military Sciences Associate Professor  
Senior Lecturer of the Department of  
Military Institute of Tank Troops NTU "KhPI",  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-5759-8758>

**Хліманцов Тарас Володимирович**

старший викладач  
Військового інституту танкових військ НТУ “ХПІ”,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-8301-1674>

**Taras Hlimancov**

Senior Instructor of the Department of  
Military Institute of Tank Troops NTU “KhPI”,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-8301-1674>

**Стародубцев Сергій Олександрович**

кандидат військових наук  
доцент кафедри  
Національної академії Національної гвардії України,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0001-9809-3863>

**Sergiy Starodubcev**

Candidate of Military Sciences  
Senior Lecturer of the Department of National Academy  
of National Guard of Ukraine,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0001-9809-3863>

**Пташка Сергій Дмитрович**

старший викладач кафедри Національної академії  
Національної гвардії України,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0001-9128-1415>

**Sergiy Ptashka**

Senior Instructor of the Department  
of the National Academy of the National Guard of Ukraine,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0001-9128-1415>

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РИСКОВ ВОЗНИКНОВЕНИЯ НЕШТАТНЫХ СИТУАЦИЙ НА ТЕХНОГЕННО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТАХ**

В.П. Варакута, Т.В. Хліманцов, С.О. Стародубцев, С.Д. Пташка

*В современных условиях одной из приоритетных задач, которые необходимо решить мировым сообществом, в том числе и Украиной – это обеспечение надежного социально-экономического развития. Оно, в свою очередь, характеризуется и зависит от здоровой экономики, состояния внешней среды и надежности объектов производства или иной людской деятельности. Поэтому выявление (определение, прогнозирование) уровней рисков, которые определяют важнейшие показатели развития страны, их оценка и усовершенствование способов обеспечения безопасности являются актуальными и перспективными направлениями научных исследований. Необходимость решения таких задач также касается сферы обеспечения защиты от последствий чрезвычайных ситуаций, обусловленных разрушениями или авариями на технически опасных объектах. События, которые произошли за последние тридцать лет, показали, что на экономику и стабильность развития любого государства существенно влияет состояние технологического оборудования технически опасных объектов и возможность их безаварийного функционирования. На основе анализа рисков (угроз), источником возникновения которых являются технически опасные объекты, к которым относятся такие, как атомные электростанции и хранилища опасных веществ, определены уровни безопасности и показатели рисков возникновения аварийных и, как возможное следствие, критических ситуаций на этих объектах. Также определены меры по предотвращению чрезвычайных ситуаций на технически-опасных объектах.*

**Ключевые слова:** уровни рисков, показатели рисков, склады боеприпасов, атомная электростанция, жидкостное ракетное топливо, гарантированный, полный, аварийный и критический уровень безопасности, штатная и нештатная ситуация, вероятность и прогнозирование потерь и ущерба.

**DETERMINATION OF RISK INDICATORS OF LOSS OF NEGATIVE SITUATIONS ON TECHNOLOGICAL DANGEROUS OBJECTS**

V. Varakuta, T. Hlimancov, S. Starodubcev, S. Ptashka

*In modern conditions, climate changes of the planet, global depletion of energy natural resources and, as a result, rapid technological development of energy industries, one of the priority tasks that need to be addressed by the world community, including Ukraine, is to ensure reliable socio-economic development. This development, in turn, is characterized and depends on a healthy economy, the state of the external environment and the reliability of production facilities (in this case, the safe operation of nuclear power plants) or other human activities, for example, the preservation of ammunition, the very existence of which causes certain risks, as in exploitation and saving. Unintentional and deliberate explosions in ammunition storage depots, unsystematic and systemic accidents at nuclear power plants, which often lead to deaths of hundreds of thousands of people, global destruction of the civilization infrastructure of life in the areas where it happened, cause some concern to country leaders and specialists. For example, seeing the complexity of solving the problem of safety of nuclear power plants, a country such as Germany, at the official level, abandoned nuclear energy. Therefore, forecasting (identifying, determining) the levels of risks of exploitation or savings, which ultimately determine the most important indicators of a country's economic development or military potential according to the criterion of a reserve of war-carrying ammunition, their assessment and improvement of security methods, is a relevant and promising direction of scientific research. The need to solve such problems also concerns the scope of protection against the consequences of emergency situations caused by destruction or accidents at technically hazardous facilities. The events that have occurred over the past thirty years have shown that the state of the technological equipment of technically dangerous facilities and the possibility of their trouble-free operation significantly affect the economy and stability of any state, and the protection and operation mode of storage facilities, as well as the rules of saving ammunition. Based on the analysis of risks (threats), the source of occurrence of which are technically hazardous objects, such as nuclear power plants and hazardous substances storages, the levels of safety and risk indicators for emergency and, as a possible consequence, critical situations at these objects are determined. In addition, measures have been identified to prevent emergency situations at technically hazardous facilities.*

**Keywords:** risk levels, risk indicators, ammunition depots, nuclear power plant, liquid propellant, guaranteed, full, emergency and critical level of safety, regular and extraordinary situation, probability and prediction of loss and damage.