

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Горбачика Сергія Олеговича

УДК 621.039.58-047.44(043.3)

ДИСЕРТАЦІЯ

**РОЗРОБКА МЕТОДОЛОГІЇ ТА ПРОЦЕДУРИ АНАЛІЗУ КРИТЕРІЇВ
УСПІХУ В ІМОВІРНІСНОМУ АНАЛІЗІ ЯДЕРНОЇ ЗАХИЩЕНОСТІ**

143 – Атомна енергетика

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____/Горбачик С.О./

Науковий керівник Кондратюк Вадим Анатолійович д.т.н., доцент.

Київ - 2025

АНОТАЦІЯ

Горбачик С.О. Розробка методології та процедури аналізу критеріїв успіху в імовірнісному аналізі ядерної захищеності. Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 143 – Атомна енергетика. – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», МОН України, Київ, 2025.

У вступі наведено обґрунтування актуальності роботи, визначено мету, об'єкт, предмет та методи дослідження. Вказано наукову новизну отриманих результатів та надано інформацію про особистий внесок здобувача, цінність та практичне значення роботи. Також зазначено інформацію про апробацію результатів та список публікацій по темі наукової роботи, описано структуру роботи.

Атомна енергетика за останнє десятиліття переживає не найкращі часи. Якщо одні країни мають намір перейти від атомної енергетики до відновлювальної, то інші, навпаки, нарощують потенціал використання мирного атома. В ситуації, яка складається в Україні, внаслідок військової агресії та яка призвела до експлуатації атомних електростанцій (АЕС) в екстремальних умовах, необхідно дотримуватись політики нарощування потужностей в атомній галузі.

Проте, всі ми пам'ятаємо уроки історії, трагічні наслідки після Чорнобильської катастрофи, аварії на АЕС Фукусіма, що викликали необхідність переглянути підхід до безпеки ядерних установок з огляду на їх експлуатацію. З подіями, що відбулися на Запорізькій АЕС, виникла необхідність переглянути підхід і до фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання.

Дисертація присвячена розвитку такого напрямку сфери безпеки, як фізичний захист ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів,

інших джерел іонізуючого випромінювання. З плином часу, всебічно прогресує розвиток технологій, що в певній мірі негативно впливає на стан фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання, так-як з'являються нові можливості обмежити працездатність системи фізичного захисту (СФЗ).

У зв'язку з новими викликами, що з'явилися, розгляду мають підлягати не тільки модернізація та модифікація систем фізичного захисту, а й підходи, інструменти аналізу, вивчення та дослідження механізмів її оцінки.

В роботі розроблено нові методи визначення критеріїв успіху функцій безпеки системи фізичного захисту та процедури їх виконання аналізу для фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання, як складової частини перспективного інструменту для імовірнісного аналізу фізичного захисту.

У першому розділі проведено оглядовий аналіз літератури та законодавства в напрямку фізичного захисту ядерних установок. Важливим питанням, що підлягає розгляду в даному розділі, є аналіз діючої нормативно-правової бази з захищеності ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання та законодавства з фізичного захисту ядерних установок, що діє в Україні, з врахуванням рекомендацій та інструкцій від МАГАТЕ та інших організацій, що працюють у сфері фізичного захисту ядерних установок, з порівнянням їхніх основних відмінностей та особливостей.

В даному аспекті, не менш критичною є проблема термінології та її визначення в різних законодавчих документах, інструкціях, рекомендаціях, зокрема важливим є питання перекладу з іноземних мов на державну, так як цей процес практично не регламентується нормативними документами.

Відповідно, виникає необхідність привести у відповідність чинну нормативно-правову базу фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання з врахуванням світового досвіду та відповідних особливостей ядерної захищеності.

У другому розділі визначено основні особливості фізичного імовірнісного аналізу (ФІА) та встановлено не характерні для традиційного імовірнісного аналізу безпеки (ІАБ) АЕС аспекти, які присутні в ФІА, тобто проведено аналіз проблем залучення традиційного ІАБ АЕС для ФІА.

Для прикладу, з'являються такі складові, які не враховуються у традиційному ІАБ АЕС: поява внутрішніх та зовнішніх правопорушників, які можуть діяти окремо чи у змові; диверсія; особливості функцій безпеки (ФБ) СФЗ; характеристика та особливості роботи СФЗ; врахування фізичних бар'єрів захисту; особливості підходу до формування СФЗ, вибору її інженерно-технічних засобів (ІТЗ), їх конфігурація, та багато чого іншого.

В процесі дослідження відповідних особливостей фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання, розроблено рекомендації щодо адаптації та врахування їх у ФІА.

Важливою відмінністю між ФІА та традиційним ІАБ АЕС є підхід до попередньої підготовки інформації для проведення аналізу безпеки, зокрема потрібно отримати в повному обсязі всі необхідні дані для виконання якісної характеристики СФЗ, що пов'язано з обмеженим доступом до чутливої інформації.

В цілому, збір необхідної інформації подібний до алгоритму дій зі збору інформації для проведення оцінки вразливості. Проте, у зв'язку зі специфічними особливостями залучення традиційного ІАБ АЕС для фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання, алгоритм дій зі збору інформації для проведення оцінки вразливості ядерних установок та ядерних матеріалів, може бути частково використаний при побудові подібного механізму для ФІА.

На основі виконання другого розділу, частково сформульовано цілі, задачі та проблеми, що розглядаються у дисертації.

Як висновок, алгоритм проведення ФІА та традиційного ІАБ АЕС є подібними, але мають певні відмінності у виконанні, через специфічні особливості, що пов'язані з фізичним захистом ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання.

На основі дослідження алгоритмів проведення ФІА та традиційного ІАБ АЕС визначено відмінності у підходах, процедурах та методах до розробки імовірнісної моделі з наведенням характеристики етапів залучення апробованого інструменту для імовірнісного аналізу фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання.

Наведена характеристика є стислою та узагальненою, так-як процес залучення традиційного ІАБ АЕС для фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання вимагає залучення значних ресурсів та необхідно врахувати обмеження з доступом до закритої інформації.

Однією з важливих складових імовірнісного аналізу, як традиційного ІАБ АЕС, так і ФІА є аналіз критеріїв успіху (КУ) для виконання функцій безпеки відповідними системами, устаткуванням, обладнанням та діями персоналу. Для ФІА такий аналіз проводиться безпосередньо, як для СФЗ, так і для її складових систем, устаткування, обладнання та дій персоналу від яких залежить працездатність СФЗ.

Тому основна увага в дисертаційній роботі приділяється розробці процедури виконання та методології визначення критеріїв успіху функцій безпеки СФЗ як складової частини перспективного інструменту для імовірнісного аналізу фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання.

У третьому розділі розроблено власну процедуру виконання та методологію визначення критеріїв успіху функцій безпеки системи фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання.

З використанням аналітичного підходу, визначено, що основні функції безпеки системи фізичного захисту відповідають функціям СФЗ, які запобігають виникненню та реалізації ядерних загроз. Основними функціями безпеки для системи фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних

відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання, які вважаються узагальненими є: попередження; виявлення; затримка; реагування; переривання.

Оскільки СФЗ є сукупністю організаційно-правових та інженерно-технічних заходів та засобів, які перешкоджають злочинним діям по відношенню до ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання та беручи до уваги, що її працездатність визначається виконанням ФБ, то вона в ієрархічному порядку ділиться на ряд систем, устаткування, обладнання та інших складових елементів, які відіграють важливу роль у функціонуванні СФЗ, тому і для них визначаються власні ФБ.

Таким чином, в даному розділі наведено власну методологію та алгоритм її виконання для визначення критеріїв успіху функцій безпеки СФЗ, досліджено можливі цілі, які потенційний правопорушник може обрати для своїх задумів, визначено основні та додаткові функції безпеки СФЗ та критерії успіху для них. Відповідно визначені, як основні (первинні) критерії успіху функцій безпеки СФЗ, так і вторинні КУ ФБ СФЗ, що визначаються в кожному конкретному випадку конфігурації СФЗ та в кожному випадку сценарію дій правопорушника з врахуванням конкретних умов, що накладаються.

На основі виконання третього розділу, в повній мірі сформовано цілі, задачі та проблеми, що висвітлюються в дисертації.

У четвертому розділі розглянуто підхід до оцінки критеріїв успіху функцій безпеки СФЗ, а саме процедуру визначення критеріїв прийнятності ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання та підхід до формування критеріїв прийнятності (КП) для критеріїв успіху функцій безпеки СФЗ.

Для того, щоб підтвердити виконання критеріїв успіху функцій безпеки СФЗ, необхідно у відповідність до визначених КУ встановити КП, порушення меж яких свідчатиме про невиконання КУ та відповідно ФБ СФЗ, зокрема систем, устаткування, обладнання та інших її складових. На основі аналізу цих даних визначається працездатність системи фізичного захисту.

При дослідженні критеріїв прийнятності для функцій безпеки СФЗ розглянуто підхід до визначення КП для ФБ СФЗ, визначено вимоги, принципи, основні процедурні кроки до встановлення та формування КП.

Як результат, сформовано критерії прийнятності для основних критеріїв успіху функцій безпеки СФЗ, що визначені в попередньому розділі.

Важливим моментом є те, що такий підхід дозволяє не тільки виявити вразливі місця в системі фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання, а й визначити надлишковий запас безпеки, що в подальшому дозволить оптимізувати СФЗ, розробивши план дій для реалізації організаційно-технічних заходів, які направлені на скорочення витрат в напрямку використання матеріальних, часових, технічних та людських ресурсів, за умови збереження відповідно встановленого рівня фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання.

Ключові слова: імовірнісний аналіз безпеки, критерії успіху, критерії прийнятності, функції безпеки, ядерна захищеність, фізичний захист, атомна енергетика, ядерне паливо, ядерні матеріали, фізичний імовірнісний аналіз, кваліфікація, аварія, експлуатація, діагностика, математичне та комп'ютерне моделювання.

Список публікацій в яких наведено основні наукові результати дисертації:

1. Горбачик, С.О. Можливості залучення імовірнісного аналізу безпеки для фізичного захисту ядерних установок / С.О. Горбачик, С.В. Клевцов // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – 2024. – № 4. С. 69-73. (<https://doi.org/10.20998/2078-774X.2023.04.10> Фахове видання, індексується у міжнародній наукометричній базі Ulrich's Periodicals Directory (New Jersey, USA)).
2. Horbachyk S.O. Approach to the analysis of success criteria as a component of probabilistic physical protection analysis of nuclear facilities / Kondratyuk V.A.,

Klevtsov S.V. // Problems of Atomic Science and Technology. –2024. – №4(152). – P.142-147. (<https://doi.org/10.46813/2024-152-142> Фахове видання, включено до категорії «А» переліку наукових фахових видань України, індексується у міжнародних наукометричних базах SCOPUS Q3, UGC CARE).

3. Горбачик С.О. Застосування аналізу критеріїв успіху імовірнісного аналізу безпеки АЕС при імовірнісній оцінці ефективності фізичного захисту. / Горбачик С.О., Кондратюк В.А., Клевцов С.В. // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2024. – № 4. С. 7-11. (<https://doi.org/10.20535/1813-5420.4.2024.315549> Фахове видання, індексується у міжнародних наукометричних базах Google Scholar, WorldCat, BASE, Polska Bibliografia Naukowa, Academic Keys та ін.).

Апробація результатів:

4. Горбачик С. О. Впровадження імовірнісного аналізу безпеки атомних електростанцій для системи фізичного захисту ядерних установ / С. О. Горбачик, С. В. Клевцов, В. А. Кондратюк // Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування : тези доп. 19-ї Міжнар. наук.-техн. конф., 21–22 грудня 2023 р. / Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т" [та ін.]. – Харків : НТУ "ХПІ", 2023. – С. 46-47. (<https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/80829>).

ABSTRACT

Horbachyk S.O. Development of a methodology and procedure for analyzing success criteria in probabilistic analysis of nuclear security. Qualification scientific work in the form of a manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in specialty 143 – Nuclear Power. – National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2025.

The introduction provides a justification for the relevance of the work, defines the goal, object, subject and research methods. The scientific novelty of the results obtained is indicated and information is provided about the personal contribution of the applicant, the value and practical significance of the work. Information about the testing of the results and a list of publications on the topic of the scientific work are also indicated, and the structure of the work is described.

Nuclear power has been going through difficult times over the past decade. If some countries intend to switch from nuclear energy to renewable energy, others, on the contrary, are increasing the potential for peaceful use of the atom. In the situation that is developing in Ukraine, as a result of military aggression and which led to the operation of nuclear power plants (NPPs) in extreme conditions, it is necessary to adhere to a policy of increasing capacities in the nuclear industry.

However, we all remember the lessons of history, the tragic consequences after the Chernobyl disaster, the accident at the Fukushima nuclear power plant, which necessitated a review of the approach to the safety of nuclear facilities in view of their operation. With the events that occurred at the Zaporizhzhia NPP, there was a need to review the approach to the physical protection of nuclear facilities, nuclear materials, radioactive waste, and other sources of ionizing radiation.

The dissertation is devoted to the development of such a direction in the security sphere as the physical protection of nuclear facilities, nuclear materials, radioactive waste, and other sources of ionizing radiation. Over time, the development of technologies is progressing comprehensively, which to some extent negatively affects the state of physical protection of nuclear facilities, nuclear materials, radioactive waste, and other sources of ionizing radiation, as new opportunities appear to limit the performance of the physical protection system (PPS).

In connection with the new challenges that have emerged, not only the modernization and modification of physical protection systems should be considered, but also approaches, analysis tools, study and research of its assessment mechanisms.

The paper develops new methods for determining the success criteria of the safety functions of the physical protection system and the procedures for performing their

analysis for the physical protection of nuclear facilities, nuclear materials, radioactive waste, and other sources of ionizing radiation, as a component of a promising tool for probabilistic analysis of physical protection.

The first section provides a review of the literature and legislation on the physical protection of nuclear facilities. An important issue to be considered in this section is the analysis of the current regulatory framework for the security of nuclear facilities, nuclear materials, radioactive waste, other sources of ionizing radiation and legislation on the physical protection of nuclear facilities in force in Ukraine, taking into account recommendations and instructions from the IAEA and other organizations working in the field of physical protection of nuclear facilities, with a comparison of their main differences and features.

In this aspect, no less critical is the problem of terminology and its interpretation in various legislative documents, instructions, recommendations, in particular, the issue of translation from foreign languages into the state language is important, since this process is practically not regulated.

Accordingly, there is a need to bring the current regulatory framework for the physical protection of nuclear facilities, nuclear materials, radioactive waste, and other sources of ionizing radiation into line with world experience and relevant features of nuclear security.

The second section identifies the main features of physical probabilistic analysis (PPA) and establishes aspects that are not typical of traditional probabilistic safety analysis (PSA) of NPPs, which are present in PPA, i.e. an analysis of the problems of involving traditional PSA of NPPs for PPA is conducted.

For example, the following components appear that are not taken into account in traditional PSA of NPPs: the appearance of internal and external offenders who can act separately or in collusion; sabotage; features of safety functions (SFs) of PPS; characteristics and features of PPS operation; consideration of physical barriers of protection; features of the approach to the formation of PPS, the choice of its engineering and technical means, their configuration, and much more.

In the process of studying the relevant features of physical protection of nuclear facilities, nuclear materials, radioactive waste, and other sources of ionizing radiation, recommendations were developed for their adaptation and inclusion in the PPA.

An important difference between the PPA and the traditional PSA of NPPs is the approach to preliminary preparation of information for conducting a safety analysis, in particular, it is necessary to obtain all the necessary data in full to perform a qualitative characterization of the PPS, which is associated with limited access to sensitive information.

In general, the collection of the necessary information is similar to the algorithm of actions for collecting information for conducting a vulnerability assessment. However, due to the specific features of involving the traditional PSA of NPPs for the physical protection of nuclear facilities, nuclear materials, radioactive waste, and other sources of ionizing radiation, the algorithm of actions for collecting information for conducting a vulnerability assessment of nuclear facilities and nuclear materials can be partially used when building a similar mechanism for the PPA.

Based on the implementation of the second section, the goals, objectives and problems considered in the dissertation are partially formulated.

As a conclusion, the algorithm for conducting PPA and traditional PSA of NPPs are similar, but have certain differences in implementation due to specific features associated with the physical protection of nuclear facilities, nuclear materials, radioactive waste, and other sources of ionizing radiation.

Based on the study of the algorithms for conducting PPA and traditional PSA of NPPs, differences in approaches, procedures and methods for developing a probabilistic model have been identified, with a description of the stages of involving a proven tool for probabilistic analysis of the physical protection of nuclear facilities, nuclear materials, radioactive waste, and other sources of ionizing radiation.

The above description is concise and generalized, since the process of involving traditional PSA NPP for the physical protection of nuclear facilities, nuclear materials, radioactive waste, other sources of ionizing radiation requires the involvement of

significant resources and it is necessary to take into account restrictions on access to classified information.

One of the important components of probabilistic analysis, both for traditional PSA NPP and PPA, is the analysis of success criteria (SC) for the performance of safety functions by the relevant systems, equipment, equipment and personnel actions. For PPA, such analysis is carried out directly, both for the PPS and for its component systems, equipment, equipment and personnel actions on which the operability of the PPS depends. Therefore, the main attention in the dissertation work is paid to the development of the procedure for performing and the methodology for determining the success criteria for the PPS safety functions as a component of a promising tool for probabilistic analysis of the physical protection of nuclear facilities, nuclear materials, radioactive waste, other sources of ionizing radiation.

The third section develops its own implementation procedure and methodology for determining the success criteria for the security functions of the physical protection system for nuclear facilities, nuclear materials, radioactive waste, and other sources of ionizing radiation.

Using an analytical approach, it is determined that the main security functions of the physical protection system correspond to the functions of the PPS that prevent the emergence and implementation of nuclear threats. The main security functions for the physical protection system for nuclear facilities, nuclear materials, radioactive waste, and other sources of ionizing radiation, which are considered generalized, are: warning; detection; delay; response; interruption.

Since the PPS is a set of organizational, legal and engineering and technical measures and means that prevent criminal acts in relation to nuclear installations, nuclear materials, radioactive waste, other sources of ionizing radiation, and taking into account that its performance is determined by the implementation of the SF, it is hierarchically divided into a number of systems, equipment, facilities and other constituent elements that play an important role in the functioning of the PPS, therefore, their own SFs are determined for them.

Thus, this section presents its own methodology and algorithm for its implementation to determine the success criteria for the PPS security functions, explores possible goals that a potential offender may choose for his plans, identifies the main and additional PPS security functions and success criteria for them. Accordingly, both the main (primary) criteria for the success of the SPS security functions and the secondary SC of the PPS SF are determined, which are determined in each specific case of the PPS configuration and in each case of the offender's action scenario, taking into account the specific conditions imposed.

Based on the implementation of the third section, the goals, objectives and problems covered in the dissertation are fully formed.

The fourth section considers the approach to assessing the success criteria for the PPS security functions, namely the procedure for determining the acceptance criteria for nuclear installations, nuclear materials, radioactive waste, other sources of ionizing radiation and the approach to forming acceptance criteria (AC) for the success criteria for the PPS security functions.

In order to confirm the fulfillment of the success criteria for the PPS security functions, it is necessary to establish AC in accordance with the defined SC, the violation of the limits of which will indicate the failure of the SC and, accordingly, the PPS SF, in particular systems, equipment, equipment and other components thereof. Based on the analysis of this data, the operability of the physical protection system is determined.

When studying the acceptance criteria for the safety functions of the PPS, the approach to determining the SC for the SF of the PPS was considered, the requirements, principles, and main procedural steps for establishing and forming the AC were determined.

As a result, acceptance criteria were formed for the main success criteria for the PPS safety functions, which were defined in the previous section.

An important point is that such an approach allows not only to identify vulnerabilities in the physical protection system of nuclear facilities, nuclear materials, radioactive waste, and other sources of ionizing radiation, but also to determine the excess safety margin, which will further allow optimizing the PPS by developing an action plan

for implementing organizational and technical measures aimed at reducing costs in the direction of using material, time, technical, and human resources, provided that the correspondingly established level of physical protection of nuclear facilities, nuclear materials, radioactive waste, and other sources of ionizing radiation is maintained.

Keywords: probabilistic security analysis, success criteria, acceptance criteria, security functions, nuclear security, physical protection, sabotage, nuclear materials, physical probabilistic analysis, qualification, accident, operation, diagnostics, mathematical and computer modeling.

List of publications containing the main scientific results of the dissertation:

1. Horbachyk, S.O. Possibilities of using probabilistic safety analysis for the physical protection of nuclear facilities / S.O. Horbachyk, S.V. Klevtsov // Bulletin of the National Technical University "KhPI". – 2024. – No. 4. P. 69-73.

2. Horbachyk S.O. Approach to the analysis of success criteria as a component of probabilistic physical protection analysis of nuclear facilities / Kondratyuk V.A., Klevtsov S.V. // Problems of Atomic Science and Technology. –2024. – No. 4(152). – P.142-147.

3. Horbachyk S.O. Application of analysis of success criteria of probabilistic analysis of nuclear power plant safety in probabilistic assessment of physical protection effectiveness. / Horbachyk S.O., Kondratyuk V.A., Klevtsov S.V. // Energy: economics, technologies, ecology. – 2024. – No. 4. P. 7-11.

Approbation of results:

4. Horbachyk S. O. Implementation of probabilistic safety analysis of nuclear power plants for the physical protection system of nuclear facilities / S. O. Horbachyk, S. V. Klevtsov, V. A. Kondratyuk // Energy and heat engineering processes and equipment: theses of the 19th International Scientific and Technical Conference, December 21–22, 2023 / National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute" [and others]. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2023. – P. 46-47.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ ВИМІРЮВАНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ	17
ВСТУП.....	19
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ У СФЕРІ ФІЗИЧНОГО ЗАХИСТУ ЯДЕРНИХ УСТАНОВОК.....	26
1.1 Аналіз законодавства України та міжнародних нормативно-правових документів у сфері фізичного захисту ядерних установок.....	27
1.2 Висновки до першого розділу.....	39
РОЗДІЛ 2 ПРОБЛЕМАТИКА ЗАЛУЧЕННЯ ТРАДИЦІЙНОГО ІМОВІРНІСНОГО АНАЛІЗУ БЕЗПЕКИ АЕС ДЛЯ ФІЗИЧНОГО ЗАХИСТУ ЯДЕРНИХ УСТАНОВОК	41
2.1 Загальна характеристика традиційного імовірнісного аналізу безпеки АЕС	41
2.2 Перспективи застосування та об'єм виконання фізичного імовірнісного аналізу.....	43
2.3 Ідентифікація проєктних загроз для фізичного захисту ядерних установок.....	46
2.4 Основні процедурні кроки групування проєктних загроз для фізичного захисту ядерних установок.....	48
2.5 Оцінка частоти виникнення проєктних загроз для фізичного захисту ядерних установок.....	51
2.6 Процедура виконання первинного збору інформації по відмовам обладнання СФЗ	57
2.7 Процедура проведення обробки зібраної первинної інформації по відмовам обладнання СФЗ	60
2.8 Категоризація залежних відмов обладнання СФЗ та формування бази даних відмов по загальній причині	66

2.9 Моделювання дій персоналу та кількісна оцінка імовірності помилок персоналу	73
2.10 Побудова дерева подій та основні процедурні кроки розробки дерева подій.....	81
2.11 Особливості побудови дерева відмов	84
2.12 Алгоритм виконання фізичного імовірнісного аналізу	87
2.13 Висновки до другого розділу	95
РОЗДІЛ 3 ПРОЦЕДУРА ТА МЕТОДОЛОГІЯ ВИЗНАЧЕННЯ КРИТЕРІЇВ УСПІХУ ФУНКЦІЙ БЕЗПЕКИ СИСТЕМИ ФІЗИЧНОГО ЗАХИСТУ ДЛЯ ІМОВІРНІСНОГО АНАЛІЗУ ФІЗИЧНОГО ЗАХИСТУ ЯДЕРНИХ УСТАНОВОК	96
3.1 Процес формування проєктних загроз у ФІА	96
3.2 Процедура встановлення та аналіз критеріїв успіху ФБ СФЗ.....	98
3.3 Методологія та алгоритм визначення критеріїв успіху ФБ СФЗ.....	112
3.4 Висновки до третього розділу	119
РОЗДІЛ 4 ПРОЦЕДУРА ВИЗНАЧЕННЯ КРИТЕРІЇВ ПРИЙНЯТНОСТІ ДЛЯ КРИТЕРІЇВ УСПІХУ ФУНКЦІЙ БЕЗПЕКИ СИСТЕМИ ФІЗИЧНОГО ЗАХИСТУ ЯДЕРНИХ УСТАНОВОК	121
4.1 Процедурні кроки та вимоги, які встановлюються при формуванні критеріїв прийнятності для критеріїв успіху функцій безпеки СФЗ.....	121
4.2 Принципи та підходи до формування критеріїв прийнятності для критеріїв успіху функцій безпеки СФЗ.....	123
4.3 Встановлення критеріїв прийнятності для загальних критеріїв успіху по відношенню до СФЗ, що визначаються цілями фізичного захисту ядерних установок та критеріїв прийнятності для відповідних КУ ФБ СФЗ.....	125
4.4 Висновки до четвертого розділу.....	131
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	132
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	135
ДОДАТОК А.....	140
ДОДАТОК Б	143

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ ВИМІРЮВАНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

Позначення:

I_{Σ} – кількісна оцінка неготовності обладнання виконати визначену функцію протягом необхідного часу;

$I_{1\Sigma}$ – сумарна неготовність обладнання виконати визначену функцію протягом необхідного часу;

λ_1 – інтенсивність відмови на потребу;

λ_2 – інтенсивність відмов в роботі;

T – середній час напрацювання елементів вибірки;

N – загальна кількість відмов;

R – загальна кількість вимог;

t – час;

Одиниці вимірювання:

% - відсоток;

$^{\circ}\text{C}$ – градус Цельсія;

Зв – Зіверт;

Скорочення:

АЕС – атомна електростанція;

АП – аварійна послідовність;

ДВ – дерево відмов;

ДП – дерево подій;

ІТЗ – інженерно-технічні засоби;

КП – критерії прийнятності;

КС – кінцевий час;

КУ – критерії успіху;

МАГАТЕ – міжнародне агентство з атомної енергії;

НАЕК – Національна атомна енергогенеруюча компанія;

НПА – нормативно-правовий акт;

ППР – планово попереджувальний ремонт;

СВБ – система важлива для безпеки;

СКУД – система контролю управління доступом;

СФЗ – система фізичного захисту;

ТВЕЛ – тепловиділяючий елемент;

ФБ – функція безпеки;

ФВ – фактор відновлення;

ФІА – фізичний імовірнісний аналіз;

ЧПАЗ – частота пошкодження активної зони;

ЯЕУ – ядерна енергетична установка;

ЯМ – ядерний матеріал.

ВСТУП

На сьогоднішній день атомна енергетика України має доволі велику встановлену потужність та відіграє основну роль в генерації електроенергії, її частка в загальній енергосистемі складає більше 50 % [1].

Характерною особливістю АЕС, як і інших ядерних установок є наявність ядерного матеріалу, радіоактивних відходів та інших джерел іонізуючого випромінювання. Тому такі об'єкти мають відповідний статус з підвищеним рівнем захисту. Причиною цього є те, що ядерні матеріали, радіоактивні відходи та інші джерела іонізуючого випромінювання є потенційними цілями для правопорушників, які мають на меті здійснити диверсію чи неправомірне вилучення ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання, що спонукає розповсюдженню ядерної зброї чи створенню ядерного вибухового пристрою або «брудної бомби».

На тлі повномасштабного вторгнення та постійних обстрілів енергосистеми України, безпечна експлуатація ядерних установок та їх фізичний захист набуває все більшого значення, адже підступні дії країни агресора по відношенню до об'єктів генерації електроенергії нашої держави, зумовили порушення в процесах постачання електроенергії кінцевим споживачам, що викликало логістичні проблеми в її транспортуванні. Це потенційно знижує рівень захисту та відповідно стан безпеки об'єктів критичної інфраструктури, до яких відносяться і ядерні установки.

Реалії сьогодення чітко показали, що необхідно підвищувати рівень безпеки ядерних установок, як з погляду їх експлуатації, так і з погляду фізичного захисту.

Актуальність теми: на сучасному етапі розвитку атомної енергетики, діяльність, що пов'язана з мирним атомом, викликає хвилю занепокоєння у суспільстві, так як все більше піднімається питання ризику вилучення ядерних матеріалів для здійснення злочинних дій, наприклад, для виготовлення ядерного вибухового пристрою чи «брудної бомби».

Основним механізмом, який виконує функції захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання – є фізичний захист.

З розвитком технологій, з'являються нові можливості обійти чи вивести з ладу СФЗ ядерних установок ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання, що надає практично безперешкодний доступ на територію ядерних установок, що в свою чергу скомпрометує ядерну захищеність.

Важливим постає питання підвищення рівню фізичного захисту, модифікації та модернізації СФЗ, її інженерно-технічних засобів, покращенню та оновленню методів та підходів аналізу ризиків та наслідків після реалізації загроз. Одним із аспектів такого підвищення рівня безпеки та покращення ефективності роботи СФЗ – є розроблення та адаптація інструментів аналізу ризиків та прогнозування появи і протікання небажаних подій, що дозволить зміцнити рівень фізичного захисту з мінімальними витратами та передбачити наслідки появи загроз та небажаних інцидентів.

Таким інструментом аналізу може бути традиційний ІАБ АЕС, проте у зв'язку із своєрідними особливостями СФЗ, безпосередньо залучити його для фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання без доопрацювання та розроблення відповідної методики та процедур виконання неможливо.

У даній роботі розроблено методологію та процедуру виконання аналізу критеріїв успіху функцій безпеки СФЗ, як складової перспективного інструменту аналізу фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання – фізичного імовірнісного аналізу.

Об'єкт дослідження: аналіз критеріїв успіху функцій безпеки СФЗ, що є складовою частиною фізичного імовірнісного аналізу.

Предмет дослідження: можливість залучення традиційного ІАБ АЕС на основі розроблення нової методики визначення критеріїв успіху функцій безпеки СФЗ, що є складовою частиною фізичного імовірнісного аналізу.

Методи дослідження: для вирішення проблем, що висвітлюються в дисертації, використовуються розрахунково-аналітичні методи:

- 1) аналітичні методи визначення критеріїв успіху функцій безпеки СФЗ та відповідні ним критерії прийнятності;
- 2) аналіз технічної літератури та законодавства України у сфері фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання;
- 3) імовірнісний аналіз фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання з порівнянням результатів підходу до аналізу критерію успіхів функцій безпеки у традиційному ІАБ АЕС та фізичному імовірнісному аналізу;
- 4) обґрунтування методики визначення та процедури виконання аналізу критеріїв успіху функцій безпеки СФЗ ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання.

Наукова новизна: наукова новизна отриманих результатів полягає у вдосконаленні методів та процедур виконання методології традиційного ІАБ АЕС для оцінки стану фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання, шляхом розроблення методів визначення та процедури виконання аналізу критеріїв успіху функцій безпеки СФЗ для фізичного імовірнісного аналізу.

- 1) Вперше надається визначення поняттям функцій безпеки, критеріїв успіху, критеріїв прийнятності по відношенню до фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання при виконанні фізичного імовірнісного аналізу.
- 2) Вперше розроблені рекомендації щодо врахування специфіки фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів,

інших джерел іонізуючого випромінювання при виконанні фізичного імовірнісного аналізу.

3) Вперше наведено алгоритм дій для збору даних, щоб провести характеристику СФЗ ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання при виконанні фізичного імовірнісного аналізу.

4) Вперше розроблено процедуру залучення та методологію визначення критеріїв успіху функцій безпеки СФЗ ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання при виконанні фізичного імовірнісного аналізу.

5) Вперше запропоновано підхід до оцінки критеріїв успіху функцій безпеки СФЗ ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання при виконанні фізичного імовірнісного аналізу.

Практичне значення та цінність роботи визначається тим, що методологія визначення та процедура виконання аналізу критеріїв успіху функцій безпеки СФЗ ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання при виконанні фізичного імовірнісного аналізу дозволяє оцінювати стан фізичного захисту ядерних установок шляхом підходу до аналізу критеріїв успіху функцій безпеки СФЗ, що в кінцевому результаті дозволить виявити вразливості у фізичному захисті та раціонально спрямувати ресурси для побудови СФЗ необхідного рівня без зайвих та додаткових витрат.

Процедура аналізу критеріїв успіху функцій безпеки СФЗ дозволяє не тільки раціонально розподілити ресурси відповідно до вразливих (критичних) точок у СФЗ, а й визначити надлишковий рівень захисту, що у свою чергу дозволяє перенаправити ресурси на найбільш важливі проблеми у СФЗ з врахуванням залучення людських, технічних, часових і відповідно матеріальних ресурсів. Це дозволить створити, модернізувати/модифікувати систему фізичного захисту відповідного рівня захисту із залученням мінімальних фінансових витрат.

Так, як визначення критеріїв успіху функцій безпеки СФЗ є складовою частиною фізичного імовірнісного аналізу, то при наявності такого повністю сформованого інструменту, можна повноцінно проводити оцінку стану фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання для отримання кількісних показників безпеки СФЗ.

Особливістю розробленої методології є те, що вона універсальна та може бути застосована для СФЗ будь-якої ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання, як на етапі проєктування СФЗ, так і вже для повністю сформованої та діючої СФЗ. Також дана методологія може застосовуватись для навчання персоналу НАЕК «Енергоатом», що дозволить підвищити рівень безпеки АЕС України.

Дисертація спрямована на вирішення такої важливої проблеми, як покращення рівня фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання шляхом застосування аналізу критеріїв успіху функцій безпеки системи фізичного захисту для отримання якісних та кількісних показників рівня фізичного захисту шляхом розроблення власної методології визначення КУ ФБ СФЗ як складової повноцінного фізичного імовірнісного аналізу.

Особистий внесок автора полягає в:

- 1) постановці цілей та задач дослідження з наступним визначенням шляхів їх вирішення;
- 2) розробці рекомендацій для адаптації та врахування специфіки фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання при виконанні фізичного імовірнісного аналізу;
- 3) розробці процедури та методів визначення критеріїв успіху функцій безпеки СФЗ ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання при проведенні фізичного імовірнісного аналізу;

4) розробці підходу до оцінки критеріїв успіху функцій безпеки СФЗ при виконанні фізичного імовірнісного аналізу.

5) визначенні критеріїв успіху функцій безпеки СФЗ ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання з встановленням у відповідність їм критеріїв прийнятності.

Список публікацій в яких наведено основні наукові результати дисертації:

1. Горбачик, С.О. Можливості залучення імовірнісного аналізу безпеки для фізичного захисту ядерних установок / С.О. Горбачик, С.В. Клевцов // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – 2024. – № 4. С. 69-73. (<https://doi.org/10.20998/2078-774X.2023.04.10> Фахове видання, індексується у міжнародній наукометричній базі Ulrich's Periodicals Directory (New Jersey, USA)).

2. Horbachyk S.O. Approach to the analysis of success criteria as a component of probabilistic physical protection analysis of nuclear facilities / Kondratyuk V.A., Klevtsov S.V. // Problems of Atomic Science and Technology. –2024. – №4(152). – P.142-147. (<https://doi.org/10.46813/2024-152-142> Фахове видання, включено до категорії «А» переліку наукових фахових видань України, індексується у міжнародних наукометричних базах SCOPUS Q3, UGC CARE).

3. Горбачик С.О. Застосування аналізу критеріїв успіху імовірнісного аналізу безпеки АЕС при імовірнісній оцінці ефективності фізичного захисту. / Горбачик С.О., Кондратюк В.А., Клевцов С.В. // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2024. – № 4. С. 7-11. (<https://doi.org/10.20535/1813-5420.4.2024.315549> Фахове видання, індексується у міжнародних наукометричних базах Google Scholar, WorldCat, BASE, Polska Bibliografia Naukowa, Academic Keys та ін.).

Апробація результатів:

4. Горбачик С. О. Впровадження імовірнісного аналізу безпеки атомних електростанцій для системи фізичного захисту ядерних установ / С. О. Горбачик, С. В. Клевцов, В. А. Кондратюк // Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування : тези доп. 19-ї Міжнар. наук.-техн. конф., 21–22 грудня 2023 р. / Нац.

техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т" [та ін.]. – Харків : НТУ "ХПІ", 2023. – С. 46-47.
(<https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/80829>).

Структура та обсяг дисертації:

дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаної літератури зі 36 найменувань (на 5 сторінках), 13 рисунків, 4 таблиці, 19 формул та 2 додатки. Загальний обсяг дисертаційної роботи складає 144 сторінок, основна частина містить 116 сторінок.

РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ У СФЕРІ ФІЗИЧНОГО ЗАХИСТУ ЯДЕРНИХ УСТАНОВОК

Провівши оглядовий аналіз літератури, зокрема і законодавчих документів у сфері фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання, сформовано основний перелік джерел інформації, яка використовується для написання дисертації:

1) Закон України «Про фізичний захист ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання» [2];

2) Наказ Державного комітету ядерного регулювання України «Облік та контроль ядерного матеріалу, фізичний захист ядерного матеріалу та ядерних установок». Тлумачний словник [3];

3) Наказ Державного комітету ядерного регулювання України «Про затвердження Правил фізичного захисту ядерних установок та ядерних матеріалів» [4];

4) Наказ Державного комітету ядерного регулювання України «Про затвердження Загальних вимог до систем фізичного захисту ядерних установок та ядерних матеріалів при їх перевезенні» [5];

5) Наказ Державного комітету ядерного регулювання України «Про затвердження Вимог щодо застосування охорони в системі фізичного захисту ядерних установок, об'єктів призначених для поводження з радіоактивними відходами, інших джерел іонізуючого випромінювання, радіоактивних матеріалів» [6];

6) Наказ Державної інспекції ядерного регулювання України «Про затвердження Вимог до оцінки стану системи обліку та контролю ядерних матеріалів» [7];

7) Наказ Державної інспекції ядерного регулювання України «Про затвердження Вимог до зон обмеження доступу, контролю та управління доступом у зони обмеження доступу» [8];

8) Конвенція про фізичний захист ядерного матеріалу та ядерних установок [9];

9) Наказ Державної інспекції ядерного регулювання України «Про затвердження Вимог до об'єктивного плану взаємодії у разі виникнення аварії» [10];

10) Наказ Державного комітету ядерного регулювання України «Про затвердження Порядку проведення оцінки вразливості ядерних установок та ядерних матеріалів» [11];

11) Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Порядку визначення рівня фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання відповідно до їх категорії» [12];

12) Характеристика гіпотетичної ядерної установки Поліська атомна електростанція «Об'єктова проєктна загроза Поліської АЕС» [13].

1.1 Аналіз законодавства України та міжнародних нормативно-правових документів у сфері фізичного захисту ядерних установок

Аналіз літератури та законодавчих документів у сфері фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання показав, що чинні нормативно-правові акти, які діють на території України, вимагають переогляду та додаткового доопрацювання, так-як виникають невизначеності і відмінності у термінології та її тлумаченні. Зокрема, це відноситься до Законів України, наказів, постанов, інструкцій, рекомендацій, що діють у напрямку фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання.

Не менш важливим є питання перекладу матеріалів, що відносяться до фізичного захисту, з іноземних мов на державну. Важливим у даному випадку є переклад термінів та їх тлумачення, так-як цей процес фактично ніяк не регламентується в Україні, тобто відсутні будь-які офіційні документи, що дозволяють робити це за єдиним стандартом.

Не дивлячись на те, що на сьогоднішній день наявні тлумачні словники технічного напрямку, вони є неактуальними, адже ці словники застарілі та не відповідають чинному законодавству України.

Тому, якщо проаналізувати законодавство України у сфері фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання, то зрозуміло, що нормативно-правова документація, зокрема, терміни та їх тлумачення, що в ній зазначені, мають ряд відмінностей та неточності, що несе за собою не вірне трактування букви закону, що гіпотетично послаблює рівень фізичного захисту.

Описана ситуація чітко відслідковується при розгляді Закону України «Про фізичний захист ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання» [2] та тлумачного словника «Облік та контроль ядерного матеріалу, фізичний захист ядерного матеріалу та ядерних установок» [3].

Далі по тексту наведені основні відмінності та неточності між законодавчими актами, рекомендаціями, що діють в Україні у сфері фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання.

Одним з таких аспектів є введення в нормативно-правову базу України, терміну «ядерна захищеність». Якщо брати до уваги світове ком'юніті, то даний термін визначений на офіційному рівні та прописаний у законодавстві з фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання, ряду країн.

Так, наприклад у рекомендаціях МАГАТЕ [14, 15], вводиться в термінологію поняття «ядерна захищеність» (nuclear security) – запобігання, виявлення,

реагування на крадіжку, диверсію, неправомірний доступ, незаконне переміщення або інші злочинні дії щодо ядерних або інших радіоактивних речовин, підприємства та діяльності.

В українському законодавстві такого терміну, як «ядерна захищеність» не вводиться, проте в Законі України «Про фізичний захист ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання» вводиться подібне поняття у відповідність, а саме «захищеність ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання» під яким розуміють відповідність рівня фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання законодавству.

В нормативно-правовій базі нашої держави, поняття «ядерна захищеність», а точніше поняття, що поставлене у відповідність, «захищеність ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання», охоплює ядерні установки, ядерні матеріали, радіоактивні відходи, інші джерела іонізуючого випромінювання. Виходячи з вище наведеного, відсутнє пояснення, чи під словосполученням «радіоактивні відходи, інші джерела іонізуючого випромінювання» розглядаються об'єкти поводження з радіоактивними відходами та комплекс дій, що пов'язані з їх утворенням, закінчуючи транспортуванням та зберіганням.

Рекомендації МАГАТЕ з культури ядерної захищеності [14] охоплюють більш розширений спектр подій щодо неправомірних дій по відношенню до ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання, зокрема з підприємствами, що пов'язані з використанням джерел іонізуючого випромінювання, а також під час перевезення та зберігання джерел іонізуючого випромінювання.

Проаналізувавши визначення «ядерна захищеність», що прописане в рекомендаціях МАГАТЕ з культури ядерної захищеності, то воно наближено описує функції фізичного захисту, але в цілому охоплює значно ширший спектр неправомірних дій по відношенню до джерел іонізуючого випромінювання та

об'єктів використання джерел іонізуючого випромінювання, наприклад, ліцензованих видів діяльності, зокрема таких, що пов'язані з перевезенням радіоактивних речовин, зберіганням відпрацьованого ядерного палива та радіоактивних відходів.

Слід виділити, що в рекомендаціях МАГАТЕ з культури ядерної захищеності [14], вказується, що фізичний захист ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання є складовою частиною ядерної захищеності.

Визначення поняття «ядерна захищеність» або іншого терміну, що поданий йому у відповідність в тлумачному словнику термінів «Облік та контроль ядерного матеріалу, фізичний захист ядерного матеріалу та ядерних установок» [3] не наводиться.

Фізичний захист належить до заходів, що спрямовані на забезпечення ядерної захищеності на національному рівні, та забезпечує захищеність ядерних матеріалів і установок, інших джерел іонізуючого випромінювання для того, щоб запобігти здійсненню неправомірних та протиправних дій. Також фізичний захист повинен забезпечувати облік та контроль ядерних та радіоактивних матеріалів. Це в свою чергу формує заходи, що спрямовані на нерозповсюдження ядерного матеріалу для створення ядерного вибухового пристрою.

В якості дії заходів з ядерної захищеності, залежить величина ризиків для країни, які пов'язані з незаконним обігом ядерних та радіоактивних матеріалів. При цьому, ядерна захищеність на національному рівні є важливою складовою частиною забезпечення глобальної безпеки.

В Законі України «Про фізичний захист ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання» [2] наводиться поняття «категорія ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання» та трактується, як показник рівня фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання, залежно від їх потенційної небезпеки.

Натомість в рекомендаціях МАГАТЕ з фізичного захисту [16, 17] наводиться поняття «категорія матеріалу» - віднесення ядерного матеріалу до певної категорії у відповідність зі станом його опромінення і його придатності для конверсії в компоненти ядерних вибухових пристроїв. Категорії матеріалу у сфері обліку та контролю ядерного матеріалу:

- 1) неопромінений матеріал прямого використання;
- 2) опромінений матеріал прямого використання;
- 3) матеріали непрямого використання.

Аналогічне визначення наводиться у словнику термінів «Облік та контроль ядерного матеріалу, фізичний захист ядерного матеріалу та ядерних установок».

В Законі України «Про фізичний захист ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання» [2] під категоризацією матеріалу розуміється показник рівня фізичного захисту у відповідність з негативними наслідками, які ці матеріали можуть принести, вразі незаконним їх заволодінням, а у матеріалах МАГАТЕ з міжнародного ядерного контролю [16], категорія матеріалу присвоюється залежно від опромінення та можливості використати його для створення ядерного вибухового пристрою, при чому відсутня пряма прив'язка до показника рівня фізичного захисту.

Схожі розбіжності у термінах та їх визначеннях наявні в понятті «підрозділ з охорони». В Законі України «Про фізичний захист ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання» [2] під терміном «підрозділ з охорони» розуміється підрозділ Національної гвардії України або суб'єкт охоронної діяльності, який згідно з законодавством виконує завдання з охорони ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання.

Звертаючись до тлумачного словника «Облік та контроль ядерного матеріалу, фізичний захист ядерного матеріалу та ядерних установок», під терміном «підрозділ охорони» [3] мають на увазі військовий підрозділ Міністерства внутрішніх справ України або суб'єкт охоронної діяльності, який виконує завдання з охорони ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних

відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання. Дане визначення дослівно прописано в Законі України «Про фізичний захист ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання» № 6064-III (2064-14) від 19 жовтня 2000 року [18], проте в наступній редакції, визначення терміну замінили.

У рекомендаціях МАГАТЕ з фізичного захисту ядерних матеріалів та ядерних установок [19, 20] наводиться подібний термін «працівник охорони» - особа, на яку покладено відповідальність за патрулювання, моніторинг, оцінку ситуації, супровід окремих осіб або перевезення (транспортування), контроль доступу і/або здійснення першочергових заходів реагування.

У тлумачному словнику «Облік та контроль ядерного матеріалу, фізичний захист ядерного матеріалу та ядерних установок» [3], під терміном «підрозділ охорони» присутнє застаріле визначення терміну і таких моментів в даному документі велика кількість, що вимагає детального його доопрацювання та оновлення.

Для кожної ядерної установки, об'єкту поводження з радіоактивними відходами або будь-яким іншим об'єктом критичної інфраструктури в обов'язковому порядку розробляється проєктна загроза.

В Законі України «Про фізичний захист ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання» [2] «проєктною загрозою» називають властивості та характеристики потенційних правопорушників, дії яких можуть бути спрямовані на вчинення диверсії, крадіжки або будь-яке інше неправомірне вилучення радіоактивних матеріалів, для протидії яким створюється система фізичного захисту.

У тлумачному словнику «Облік та контроль ядерного матеріалу, фізичний захист ядерного матеріалу та ядерних установок» [3], під «проєктною загрозою» розуміють прийнятий державою документ, в якому відображені характеристики потенціальних внутрішніх та/або зовнішніх правопорушників, які могли б розпочати спробу несанкціонованого вилучення ядерного матеріалу або диверсії, для протидії яким проєктується та оцінюється система фізичного захисту.

У рекомендаціях МАГАТЕ з фізичного захисту ядерних матеріалів та ядерних установок [19, 20] під проєктною загрозою розуміють признаки та характеристики потенційних внутрішніх правопорушників і/або зовнішніх правопорушників, що можуть здійснити спробу несанкціонованого вилучення або саботажу (диверсії), для протидії яким створюється та оцінюється система фізичного захисту.

У випадку з тлумаченням терміну «проєктної загрози» в Законі України «Про фізичний захист ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання» [2], то в ньому не вказують тип правопорушників (зовнішні чи внутрішні) та не враховують таку подію, як саботаж. В загальному, в законодавстві України, такий термін, як «саботаж» у сфері фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання не використовується та взагалі на законодавчому рівні не прописується.

Натомість у рекомендаціях МАГАТЕ з фізичного захисту ядерних матеріалів та ядерних установок [19, 20] такий термін, як «диверсія» прописаний та під ним розуміють будь-які навмисні дії по відношенню до ядерних установок або ядерних матеріалів при їх використанні, зберіганні чи перевезенні (транспортуванні), які можуть прямо або побічно створити загрозу для здоров'я і безпеки персоналу, населення або навколишнього середовища в результаті впливу радіації або викиду радіоактивних речовин.

Якщо взяти до уваги українське законодавство та рекомендації/посібники МАГАТЕ у сфері фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання, то між ними наявні значні відмінності, зокрема у поняттях та визначеннях, при чому одні поняття наявні в матеріалах МАГАТЕ, а інші відсутні. Також слід зазначити, що у матеріалах МАГАТЕ деякі поняття ототожнюються, наприклад, як «режим фізичного захисту» та «державна система фізичного захисту». Натомість в українському законодавстві це різні поняття, так-як на державному рівні

встановлюється порядок забезпечення фізичного захисту на основі чого впроваджується Державна система фізичного захисту.

В Законі України «Про фізичний захист ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання» [2] під «режимом фізичного захисту» розуміється встановлений законодавством порядок забезпечення фізичного захисту. На основі цього встановлюються завдання державної системи фізичного захисту:

- 1) нормативно-правове регулювання питань фізичного захисту;
- 2) забезпечення захищеності ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання з врахуванням проєктної загрози;
- 3) створення та забезпечення функціонування єдиної системи захищеного зв'язку між органами державної влади та юридичними особами, до повноважень яких належить здійснення функцій обліку, контролю, фізичного захисту та протидії нападу на ядерні установки, об'єкти, які призначені для поводження з радіоактивними відходами, іншими джерелами іонізуючого випромінювання, транспортні засоби, що транспортують радіоактивні матеріали;
- 4) здійснення Державного нагляду та контролю за станом фізичного захисту; організація роботи з обміну інформацією про стан фізичного захисту та її збереження.

В свою чергу у матеріалах МАГАТЕ [21, 22] під терміном «режим фізичного захисту» мається на увазі Державний режим, що охоплює:

- 1) законодавчу та регуляторну базу з фізичного захисту ядерного матеріалу та ядерних установок;
- 2) установи та організації в державі, які відповідають за забезпечення імплементації законодавчої та регуляторної бази;
- 3) системи фізичного захисту ядерних установок та перевезень ядерних та радіоактивних матеріалів.

Завданням Державної системи фізичного захисту згідно матеріалів МАГАТЕ є:

- 1) мінімізація можливості несанкціонованого вилучення ядерного матеріалу або диверсії;
- 2) виявлення та повернення втраченого матеріалу та мінімізація радіологічних наслідків диверсії.

Виходячи з вище описаного, важливим аспектом в системі фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання є вимоги щодо забезпечення фізичного захисту ядерних матеріалів при перевезенні.

Система фізичного захисту ядерних матеріалів створюється для конкретного перевезення, виходячи з принципу глибокоешелонованого захисту, з урахуванням категорій ядерних матеріалів, з урахуванням потенційних радіаційних наслідків імовірного вчинення диверсії та потенційних наслідків несанкціонованого вилучення ядерних матеріалів [4].

Система фізичного захисту ядерних матеріалів при їх перевезенні визначається на підставі [5]:

- 1) категорій ядерних матеріалів;
- 2) характеристик конструкцій упаковок;
- 3) характеристик транспортного засобу;
- 4) проєктної загрози;
- 5) оперативної інформації про можливі загрози на маршруті транспортування;
- 6) оцінки можливих радіаційних наслідків вчинення диверсії, крадіжки або будь-якого іншого незаконного вилучення ядерних матеріалів.

Однією з основних об'єктових проєктних загроз, що розглядається у фізичному захисті ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання є диверсія.

Категорії ядерних установок, ядерних матеріалів визначаються відповідно до чинного законодавства.

Згідно Постанови Кабінету Міністрів України «Про затвердження Порядку визначення рівня фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів,

радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання відповідно до їх категорії» ядерні установки, ядерні матеріали (ЯМ) діляться на наступні категорії, що наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Категорія ядерних установок, ядерних матеріалів

I категорія	Ядерні установки, до складу яких належать реакторна установка, завантажена ядерним паливом та оснащена засобами управління ланцюговою реакцією; ядерні матеріали I категорії згідно з додатком 2 до Конвенції про фізичний захист ядерного матеріалу, ратифікованої Верховною Радою України 5 травня 1993 року (додаток 2 до Конвенції про фізичний захист наведено в таблиці 3.1);
II категорія	Ядерні установки, які не належать до I категорії; ядерні матеріали II категорії згідно з додатком 2 до Конвенції про фізичний захист ядерного матеріалу, ратифікованої Верховною Радою України 5 травня 1993 р. [9]; відпрацьоване ядерне паливо (додаток 2 до Конвенції про фізичний захист наведено в таблиці 3.1);
III категорія	Ядерні матеріали III категорії згідно з додатком 2 до Конвенції про фізичний захист ядерного матеріалу, ратифікованої Верховною Радою України 5 травня 1993 року [9] (додаток 2 до Конвенції про фізичний захист наведено в таблиці 3.1).

Одним із законодавчих актів України, який регламентує дії, які пов'язані із запобіганням диверсії є Наказ Державного комітету ядерного регулювання України «Про затвердження Вимог до об'єктового плану взаємодії вразі виникнення диверсії» [10].

Завданнями об'єктового плану взаємодії у разі вчинення диверсії є [10]:

1) забезпечення успішної протидії будь-яким спробам правопорушників, характеристики яких визначені в об'єктівій проєктній загрозі, вчинити диверсію,

крадіжку ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання, інші протиправні дії щодо об'єкта;

2) недопущення зборів, мітингів, демонстрацій та інших громадських заходів на території об'єкта та в санітарно-захисній зоні об'єкта;

3) попередження організації та припинення мітингів, демонстрацій, пікетування, блокування транспортних комунікацій та інших громадських заходів за межами території об'єкта та його санітарно-захисної зони, якщо проведення таких заходів може призвести до порушення дієздатності систем об'єкта.

Об'єктова проєктна загроза є однією із ключових ланок, частково на основі якої підрозділ з охорони спільно з ліцензіатом створює систему охорони об'єкта.

Іншими складовими, окрім об'єктової проєктної загрози, на основі яких створюється система охорони об'єкта є [6]:

- 1) характеристик об'єкта;
- 2) конфігурації системи фізичного захисту;
- 3) рівня можливих неприйнятних радіаційних наслідків вчинення протиправних дій щодо об'єкта правопорушниками, характеристики яких визначені в об'єктовій проєктній загрозі.

Підрозділ з охорони розробляє та затверджує інструкцію про застосування персоналом підрозділу з охорони зброї та спеціальних засобів в зонах обмеження доступу до об'єкта. Інструкція погоджується заступником керівника об'єкта, що відповідає за стан системи фізичного захисту об'єкта, та головним інженером об'єкта [6].

В даному випадку під зоною обмеження доступу мається на увазі наступне [8]:

- 1) захищена зона;
- 2) особливо важлива зона;
- 3) внутрішня зона;
- 4) зона контрольованого доступу.

Підрозділ з охорони також забезпечує експлуатацію інженерно-технічних засобів системи фізичного захисту об'єкта, переданих в експлуатацію підрозділу з

охорони, відповідно до вимог чинного законодавства, технічної, проєктної та експлуатаційної документації [6].

Як вже стало зрозуміло, що важливою складовою фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання є система фізичного захисту. Від її коректного функціонування залежить контроль ядерних матеріалів. Одним із основних законодавчих актів, які оцінюють стан системи фізичного захисту є Наказ Державної інспекції ядерного регулювання України «Про затвердження вимог до оцінки стану системи обліку та контролю ядерних матеріалів» [7].

Як результат, спираючись на нормативно-правову базу, закони, накази, інструкції, рекомендації відповідних установ, що належать до сфери фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання, з врахуванням світового досвіду, рекомендацій МАГАТЕ та інших дотичних організацій, що відносяться до сфери фізичного захисту джерел іонізуючого випромінювання, необхідно розробити нову нормативно-правову базу, яка матиме загально-впорядковану термінологію та буде відповідати чинному законодавству України вразі внесення змін, в ієрархічному порядку. Так, в законодавстві України наявна велика кількість нормативно-правових актів, що діють у сфері фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання, але частина з них не оновлена, що вимагає негайно упорядкувати відповідну документацію за одним алгоритмом при дотриманні чинних норм Закону.

Важливим аспектом даного розділу, це є відсутність сформованої в Україні нормативно-правової бази з ядерної захищеності, натомість, в матеріалах МАГАТЕ, ядерна захищеність є комплексом заходів, спрямованих на забезпечення безпеки ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання від неправомірного втручання, крадіжок, диверсій чи інших злочинних дій. Більш широко дане питання розкрито в працях І.Я. Кузмяк, В.І. Кравцов, О.В. Печериця, О.В. Пасека – «Ядерна захищеність: синонім фізичного захисту чи складова ядерної та радіоактивної безпеки» [23], І.Я.

Кузмяк, В.І. Кравцов – «Розвиток фізичного захисту радіоактивних відходів як крок до підтримання ядерної захищеності» [24], І. Я. Кузмяк, Г. М. Вагін, В. І. Кравцов – «Оцінка стану фізичного захисту ядерних установок як базис постійного підтримання режиму ядерної захищеності» [25], Д.В. Чумак – «Міжнародні інструменти у покращенні ядерної захищеності» [26].

На сьогодні, критичним питанням у фізичному захисті ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання є відсутність на законодавчому рівні такої загрози, як саботаж. Наша держава не розглядає та виключає імовірність такої події, проте якщо аналізувати постійні ракетні обстріли об'єктів генерації енергії, які обходяться країні агресору в сотні мільйонів доларів, доцільність саботажу на об'єкті буде більш раціональною, тому врахування такої події в переліку загроз по відношенню до ядерних установок та інших об'єктів генерації електроенергії є важливим аспектом підтримання фізичного захисту на належному рівні.

1.2 Висновки до першого розділу

1) Розглянуто основні невідповідності у нормативно-правових документах, що відносяться до сфери фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання, зокрема основну увагу було приділено визначенням та їх тлумаченню, виконано порівняльний аналіз українського законодавства і нормативно-правових актів (НПА) з матеріалами МАГАТЕ та міжнародним досвідом.

2) Проаналізовано законодавство України у сфері фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання щодо формування системи фізичного захисту, як на рівні держави, так і на рівні об'єкту, беручи до уваги аспект формування СФЗ з врахуванням категорії ядерних установок, ядерних матеріалів та вимог, які встановлюються в кожному конкретному випадку.

3) Аргументовано проведення змін та доопрацювання ряду нормативно-правових документів у сфері фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання, через їх невідповідність чинному законодавству України.

РОЗДІЛ 2 ПРОБЛЕМАТИКА ЗАЛУЧЕННЯ ТРАДИЦІЙНОГО ІМОВІРНІСНОГО АНАЛІЗУ БЕЗПЕКИ АЕС ДЛЯ ФІЗИЧНОГО ЗАХИСТУ ЯДЕРНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

У другому розділі наведено основні нехарактерні особливості фізичного імовірнісного аналізу по відношенню до традиційного імовірнісного аналізу безпеки АЕС. Зокрема, проведено аналіз проблематики залучення традиційного імовірнісного аналізу безпеки АЕС для фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання.

2.1 Загальна характеристика традиційного імовірнісного аналізу безпеки АЕС

В загальному, імовірнісний аналіз безпеки АЕС – це аналіз безпеки атомної станції (енергоблоку атомної станції), що виконується для аналізу імовірності виникнення, шляхів розвитку та кінцевих станів (КС) аварій, а також для визначення частоти пошкодження ядерного палива, граничного аварійного викиду та оцінки радіаційного впливу на населення [27].

Імовірнісний аналіз безпеки АЕС відносять до найбільш ефективних інструментів кількісної та якісної оцінки вразливості енергоблоку по відношенню до всього спектру можливих вихідних подій аварії (ВПА). В даному випадку під «вразливістю енергоблока» розуміють імовірність плавлення активної зони реактора, тобто тяжке пошкодження активної зони реактора (для імовірнісного аналізу безпеки І-го рівня).

Під «спектром вихідних подій аварій» мають на увазі внутрішні технологічні аварії, які безпосередньо викликані відмовами основного обладнання енергоблоку і/або помилками персоналу (для імовірнісного аналізу безпеки І-го рівня по відношенню до внутрішніх ВПА при роботі блоку на потужності).

Ціллю імовірнісного аналізу безпеки АЕС є кількісно «зважити» степінь вразливості енергоблоку по відношенню до всього спектру можливих вихідних подій аварії.

Основними завданнями традиційного імовірнісного аналізу безпеки АЕС є:

- 1) ідентифікація всіх можливих ризиків: визначення всіх можливих сценаріїв протікання аварій, беручи до уваги відмови обладнання, помилки персоналу або зовнішні чинники (наприклад, природні катастрофи);
- 2) оцінка імовірності виникнення небажаних подій: визначення імовірності виникнення конкретних подій, які можуть привести до аварії;
- 3) аналіз наслідків аварій: мається на увазі оцінка впливу аварії на персонал, населення та навколишнє середовище;
- 4) розробка заходів, що не допустять до появи аварій або їх подальшого протікання після їх появи, чи мінімізувати наслідки появи аварії: вдосконалення систем безпеки, процедур реагування та управління ризиками.

Таким чином, традиційний імовірнісний аналіз безпеки АЕС сприяє систематичному підходу до оцінки безпеки, дозволяє прийняти зважене рішення щодо модернізації обладнання та вдосконалення процедур, виявляє «вразливі» місця у системах важливих для безпеки ядерних енергетичних установок (СВБ ЯЕУ). Імовірнісний аналіз безпеки АЕС є добре вивченим та загально прийнятим інструментом у забезпеченні безпечної експлуатації АЕС, який дозволяє мінімізувати ризики та підвищити рівень захисту персоналу, населення та навколишнього середовища.

Застосувавши традиційний імовірнісний аналіз безпеки АЕС для фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання, можна було б покращити рівень фізичного захисту з раціональним залученням людських, часових та матеріальних ресурсів.

Проте, використати безпосередньо традиційний імовірнісний аналіз безпеки АЕС для фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання не є можливо, так-як необхідно врахувати специфіку фізичного захисту та розробити (врахувати) спектр

вихідних подій аварії (об'єктові проєктні загрози), що в подальшому вимагає розроблення нової процедури залучення та методології виконання такого перспективного інструменту, як фізичний імовірнісний аналіз або імовірнісний аналіз фізичного захисту.

2.2 Перспективи застосування та об'єм виконання фізичного імовірнісного аналізу

Якщо застосувати традиційний імовірнісний аналіз безпеки АЕС по відношенню до фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання, то можна:

- 1) оцінити зворотну реакцію системи фізичного захисту на всі можливі вихідні події з накладанням різних комбінацій відмов системи фізичного захисту, її складових та помилок персоналу;
- 2) кількісно оцінити рівень фізичного захисту з ціллю порівняння розрахункового значення з встановленими критеріями безпеки;
- 3) визначити вразливі місця системи фізичного захисту на рівні окремих вихідних подій; окремих систем (обладнання), працездатність яких основним чином впливає на стан фізичного захисту; окремих дій персоналу та групи швидкого реагування;
- 4) визначити важливі для системи фізичного захисту міжсистемні та людино-машинні залежності;
- 5) кількісно «звужити» невизначеності в окремих результатах, які обумовлені стохастичною природою даних по надійності обладнання та персоналу, а також допущеннями, які прийняті як на етапі збору і опрацювання вхідних даних, так і в процесі розроблення імовірнісної моделі СФЗ.

Відповідно, провівши фізичний імовірнісний аналіз на виході (безпосередній результат) можна:

- 1) отримати оцінку відповідності СФЗ прийнятим імовірнісним критеріям безпеки;

- 2) прийняти відповідні рішення, що базуються на оцінці ризику;
- 3) здійснити перерозподіл пріоритетів по реконструкції та підвищенні стану безпеки СФЗ, що дозволить спрямувати матеріальні, людські та часові ресурси на вирішення проблем, що дійсно мають першочерговий пріоритет;
- 4) виявити додаткові (специфічні для системи фізичного захисту) проблеми, що вимагають подальшого додаткового вивчення;
- 5) удосконалити інструкції по обслуговуванні-опробуванні системи фізичного захисту, її окремого обладнання та елементів;
- 6) удосконалити інструкції по підтриманню необхідного рівня фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання;
- 7) провести більш детальний аналіз порушень та інцидентів, які виникають в системі фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання (тобто виявити та проаналізувати потенційно-небезпечні додаткові відмови в системі фізичного захисту, її обладнання та елементів, які можуть призвести до небажаних подій);
- 8) удосконалити методи та систему збору і обробки первинних даних по відмовам обладнання та надійності персоналу системи фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання; сформувати стаціонарну базу даних по надійності, яка відповідає сучасним вимогам;
- 9) підвищити якість експлуатаційної документації системи фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання;
- 10) здійснити технічний супровід імовірнісної моделі СФЗ ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання з метою відображення реального стану системи фізичного захисту (реконструкції систем та елементів СФЗ, зміна в параметрах надійності обладнання по причині його старіння, заміни, зміни в показниках надійності персоналу); нового

розуміння природи деяких феноменів, які присутні в тій чи іншій події, що пов'язана з фізичним захистом ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання;

11) відстежувати профіль ризику в реальному масштабі часу.

Фізичний імовірнісний аналіз дозволить підвищити рівень безпеки системи фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання та надасть можливість врахувати такі події, як саботаж (в правовому законодавстві України, що пов'язане з фізичним захистом ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання не розглядається), диверсії, старіння обладнання. Дані події в традиційному імовірнісному аналізі безпеки АЕС через наявні обмеження не враховуються.

Об'єм виконання фізичного імовірнісного аналізу визначається набором поставлених цілей, наявністю матеріально-технічного, фінансового, часового, людського ресурсу, а також наявністю вхідних даних для моделювання.

Основними цілями/задачами структури фізичного імовірнісного аналізу є:

- 1) ідентифікація та групування об'єктових проєктних загроз; оцінка частоти їх виникнення;
- 2) опис системи фізичного СФЗ захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання;
- 3) визначення категорії ЯМ;
- 4) формування бази даних по надійності ІТЗ; формування відмов по загальній причині;
- 5) аналіз критеріїв успіху функцій безпеки системи фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання;
- 6) розроблення дерева подій (ДП);
- 7) аналіз СФЗ ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання – розроблення дерева відмов (ДВ);

- 8) аналіз людського фактору при проєктуванні, експлуатації системи фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання;
- 9) кількісний аналіз – аналіз невизначеності, аналіз значимості та аналіз чутливості;
- 10) аналіз результатів та рекомендацій фізичного імовірнісного аналізу.

Важливою відмінністю ФІА по відношенню до традиційного ІАБ АЕС полягає у визначенні проєктних загроз.

2.3 Ідентифікація проєктних загроз для фізичного захисту ядерних установок

Загроза – це продукт наміру та можливості, де «можливість» означає вміння, навички, екіпірування правопорушника/правопорушників, будь-то вони зовнішні чи внутрішні, чи працюють у змові, а «наміри» мають на увазі рішучість правопорушника/правопорушників здійснити злочинні дії по відношенню до ядерної установки, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання.

Носіями загрози являються порушник чи порушники, що шукають можливості застосувати вміння, навички, озброєння проти ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання та будуть використовувати вразливість системи фізичного захисту у власних неправомірних цілях.

Оцінка загрози відбувається на основі існуючої оперативної та розвідувальної інформації, а також інформації у відкритому доступі, що описує мотивацію, наміри та можливості імовірних зовнішніх чи внутрішніх правопорушників, які можуть діяти окремо чи бути у змові.

Ціллю оцінки загроз є визначення переліку можливих загроз по відношенню до конкретної ядерної установки, ядерного матеріалу, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання.

Кожну загрозу необхідно проаналізувати та оцінити її вплив на ядерну установку, ядерні матеріали, радіоактивні відходи, інші джерела іонізуючого випромінювання та можливі наслідки вразі реалізації загрози.

Оцінка загрози повинна відбуватися на основі найбільш повної інформації, що має в користуванні держава, і повинна включати в себе, як міжнародну, так і внутрішню загрозу, а також потенційні зміни в можливостях правопорушників.

Держава повинна постійно піддавати перегляду оцінку загроз та можливий ефект будь-яких змін в ній.

Тому для реалізації необхідних вимог держави по відношенню до оцінки загроз можна використати фізичний імовірнісний аналіз.

Загрози повинні включати в себе оцінку частоти виникнення загрози та імовірності можливих наслідків, тобто мати в собі оцінку ризику.

Під оцінкою ризику, розуміється процес встановлення величини ризику [11].

Правопорушники, будь-то вони внутрішні чи зовнішні несуть за собою наступні наміри та загрози, наприклад:

- 1) створення імпровізованого ядерного вибухового пристрою (неправомірне вилучення ядерного матеріалу для створення ядерного заряду);
- 2) створення радіологічного дисперсного пристрою або пристрою радіоактивної дії (неправомірне вилучення радіоактивних матеріалів або джерел іонізуючого випромінювання);
- 3) зараження продуктів харчування, води або повітря (неправомірне вилучення радіоактивних матеріалів або джерел іонізуючого випромінювання);
- 4) диверсія/саботаж (на ядерному об'єкті з ціллю опромінення або радіоактивного зараження персоналу, населення, навколишнього середовища);
- 5) будь-які інші протиправні дії по відношенню до ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання.

Важливим етапом у фізичному імовірнісному аналізі безпеки є групування проєктних загроз. Відповідно, по результатам ідентифікації проєктних загроз, буде сформовано їх великий перелік. Для досягнення максимальної компактності

імовірнісної моделі системи фізичного захисту, мінімізації витрат на її розроблення без негативного впливу на якість фізичного імовірнісного аналізу та його результати, виконується групування проєктних загроз. Процес проєктування повинен бути організований таким чином, щоб будь яке поєднання проєктних загроз в групу виконувалось без значної шкоди якісним та кількісним результатам фізичного імовірнісного аналізу.

2.4 Основні процедурні кроки групування проєктних загроз для фізичного захисту ядерних установок

Крок 1 – полягає у визначенні переліку необхідних ФБ. У рамках фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання виділяють наступні функції фізичного захисту, які відповідають ФБ системи фізичного захисту [28]:

1) ФБ 1 - запобігання – направлена на створення умов, що обмежують можливість реалізації намірів правопорушника.

В даному випадку, ця ФБ представляє собою організаційно-технічні заходи: робота з населенням, оперативна робота, створення зовнішнього периметру, введення зони обмеженого доступу і т.п.

2) ФБ 2 - виявлення – забезпечує своєчасне виявлення порушення меж зони обмеженого доступу.

ФБ виявлення можна розділити на дві підфункції:

а) виявлення – включає в себе моніторинг бар'єрів СФЗ та оцінки сигналів від ІТЗ, наприклад таких, як підтвердження, приборна сигналізація, збір додаткової інформації про сигнал тривоги або інформаційне оповіщення, інтеграція інформації з різних джерел, первинну оцінку сигналу або оповіщення.

б) затримка – час, що має бути меншим того часу, який необхідний правопорушнику для подолання бар'єрів системи фізичного СФЗ, щоб виконати поставлену ціль і/або викликати небажану подію, що пов'язана з фізичним

захистом ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання.

3) ФБ 3- реагування – можливість адекватного реагування на сигнал та переривання сценарію дій правопорушника.

Дана функція безпеки включає в себе комунікацію, розгортання та безпосередньо реагування.

Крок 2 – аналіз функціонально-системної залежності.

Аналіз полягає у визначенні складових системи фізичного захисту, які у випадку виникнення проєктної загрози безпосередньо виконують кожну із необхідних ФБ. Визначення переліку таких складових виконується на основі проєкту системи фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання.

Для кожної «фронтальної системи» визначається перелік відповідних систем забезпечення.

Термін «фронтальна система» використовується для визначення системи, яка забезпечує початкову реакцію на загрозу, аварію, аварійну ситуацію, щоб зупинити їх розвиток на початковому етапі.

Слід зазначити, що робота фронтальної системи забезпечення, може в свою чергу залежати від працездатності іншої системи забезпечення, тому аналогічним чином повинен визначатися перелік і цих систем. Процес завершується розробкою функціонально-системної матриці залежності.

Крок 3 – визначення критеріїв успішного виконання функцій безпеки системи фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання.

Так-як основну увагу в даній роботі приділяється визначенні методології та процедури виконання аналізу критеріїв успіху функцій безпеки системи фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, інших джерел іонізуючого випромінювання, то основний вклад матеріалу буде висвітлено далі по тексту роботи.

Крок 4 – групування вихідних подій аварії (об’єктових проєктних загроз).

Дане групування виконується на основі порівняльного аналізу наступних факторів:

- 1) однаковий набір ФБ, що необхідний для обмеження наслідків проєктної загрози;
- 2) однаковий набір працездатних систем, які можуть виконувати кожну із визначених ФБ;
- 3) ідентичності критеріїв успіху функцій безпеки системи фізичного захисту;
- 4) однаковий набір додаткових умов, що характеризує специфіку виникнення та розвитку проєктних загроз, що порівнюються.

Схематично процес групування проєктних загроз зображено на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 – Основні процедурні кроки групування проєктних загроз.

2.5 Оцінка частоти виникнення проєктних загроз для фізичного захисту ядерних установок

Важливим етапом будь-якого імовірнісного аналізу безпеки, зокрема і фізичного імовірнісного аналізу є оцінка частоти проєктних загроз, яка полягає в отриманні кількісного значення частоти проєктних загроз; виконанні кількісної оцінки невизначеності отриманих значень частот.

Розрахунок частоти вихідної події аварії (проєктної загрози) необхідно виконувати максимально коректно та з великою точністю, оскільки проєктне значення частоти проєктної загрози напряму впливає на кількісні результати фізичного імовірнісного аналізу.

Слід зазначити, що оцінка частот виконується в два етапи, спочатку виконується попередня оцінка частот окремих проєктних загроз, а пізніше відбувається кінцева оцінка частот груп проєктних загроз.

Вибір конкретного розрахункового співвідношення для оцінки частоти вихідної події залежить від очікування її повторення:

- 1) події з високою частотою виникнення, більше 10^{-1} рік⁻¹;
- 2) події з середньою частотою виникнення, інтервалі від 10^{-2} до 10^{-3} рік⁻¹;
- 3) події з низькою частотою виникнення, менше 10^{-3} рік⁻¹.

Як і більшість задач, що вирішуються в будь-якому імовірнісному аналізі безпеки, процес групування вихідних подій є процесом ітеративним, тобто кінцеве групування можливе лише після такого етапу, як розробка дерева подій. Лише після проведення функціонально-системної залежності, можна вважати, що перелік систем сформовано до кінця.

Одним із основних джерел інформації для переважної більшості задач є база даних по системах, які розглядаються у фізичному імовірнісному аналізі, що виконується в рамках будь-якого імовірнісного аналізу безпеки, в тому числі і для ФІА. Основна ціль розробки бази даних по системах – це зібрати, систематизувати та задокументувати всю інформацію, яка необхідна для імовірнісного моделювання

системи фізичного захисту та розрахунку аварійних послідовностей (АП) в рамках переліку проєктних загроз, що розглядаються.

Попередній перелік систем та елементів СФЗ сформується на базі результатів задачі «Ідентифікація переліку вихідних подій об'єктових проєктних загроз». Необхідний об'єм описання систем та елементів СФЗ залежить, як правило, від їх призначення та припущення щодо їх важливості.

Збір вхідної інформації відбувається з наступних джерел:

- 1) проєктна інформація;
- 2) інструкції по експлуатації СФЗ та її складових;
- 3) технологічні, електричні схеми систем та схеми контрольно-вимірювальних приладів систем та складових елементів СФЗ;
- 4) план-графіки технологічного обслуговування і випробування систем та складових елементів СФЗ;
- 5) відомості та експлуатаційна інформація про приміщення та прилеглу територію, що відноситься до систем та складових елементів СФЗ;
- 6) консультація з відповідним персоналом з ціллю уточнення різних аспектів експлуатації систем та складових елементів СФЗ.

Не менш важливим етапом в фізичному імовірнісному аналізі є розробка опису систем для подальшого їх моделювання, що включає в себе наступні кроки:

- 1) призначення системи – визначаються цілі та функції, що виконуються системою (попередньо перераховуються функції безпеки та відповідні критерії успіху з наступним їх уточненням);
- 2) відношення до можливих проєктних загроз/функцій безпеки – передбачується роль системи та її складових елементів, що впливатиме на об'єм наступного описання та моделювання, визначення того, чи моделювання буде спрощене або детальне;
- 3) безпосереднє описання системи – опис систем, її склад та межі (з перерахунком обладнання, яке є загальним з іншими суміжними системами). Описання контрольно-вимірювальних приладів та автоматизації, а також захистів та блокування;

4) описання основного обладнання системи фізичного захисту – наводяться технічні характеристики основного обладнання та його меж. Описання способів та технічних засобів управління та контролю за станом обладнання (необхідно для вибору правильної розрахункової формули оцінки неготовності). Інформація по допустимим умовам навколишнього середовища з точки зору збереження працездатності обладнання в нормальних та аварійних умовах (необхідно для визначення вторинних критеріїв успіху);

5) коротке описання об'ємів, методів, періодичності та стратегії випробувань, обслуговувань, ремонтів систем, а також її окремого обладнання – виконується для виявлення таких видів випробувань та обслуговувань, по умовам виконання яких система (канал системи, частина технологічної схеми, її окремого обладнання, елементу) виводиться з працездатного стану (наприклад, потребується для правильного розрахунку сумарного напрацювання або сумарного часу простою елементу). Виявляються можливі помилки оперативно-ремонтного персоналу, що приводять систему в «нерегламентований» стан після виконання опробувань, випробувань, ремонтів (необхідно для правильного розрахунку імовірності доаварійних помилок персоналу). Визначаються можливі приховані відмови обладнання, що не проявились при існуючих методах і об'ємах контролю надійності (необхідно для правильного розрахунку параметрів надійності відповідного обладнання);

6) історія експлуатації систем та складових елементів системи фізичного захисту – в даному аспекті розуміються наступні моменти: реконструкція, заміна обладнання, характерні проблеми експлуатації, не повний проєктний час напрацювання обладнання, що найчастіше відмовляє;

7) режим функціонування систем та складових елементів системи фізичного захисту – описання можливих режимів роботи систем та складових системи фізичного захисту (їх конфігурація) в нормальних умовах експлуатації, при реалізації проєктних загроз (необхідно для правильної розробки логічної моделі системи);

8) дії персоналу – описання дій персоналу по дублюванню систем автоматики, дублюванню систем виявлення, управління системою в різних режимах (конфігураціях) її роботи з врахуванням можливих аварійних умов (необхідних для правильного моделювання ДП в структурі ДВ і розрахунку імовірностей помилок персоналу при управлінні ситуацією, що пов'язана з неправомірними діями по відношенню до фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання);

9) міжсистемні залежності (взаємодії) – перерахунок та аналіз наявної міжсистемної залежності (по відношенню до всіх елементів, що розглядаються в системах та складових частинах системи фізичного захисту). Обґрунтування виключення залежності, що не є критичними.

10) якісний аналіз видів відмов та їх наслідків систем та складових елементів системи фізичного захисту – один із найбільш працезатратних та тяжких завдань. Для кожного елементу системи визначаються характерні види відмов даного елементу та зовнішні ознаки їх проявів. Виконується аналіз впливу кожного виду відмов на працездатність системи чи складової частини системи фізичного захисту, що аналізується та безпосередньо на стан системи фізичного захисту в цілому. Визначається можливість та середній час усунення відмови даного виду в умовах аварійної ситуації.

Розроблення бази даних надійності обладнання є дуже важливим аспектом у виконанні фізичного імовірнісного аналізу та це несе за собою наступну ціль – підготовка кількісних вхідних даних для імовірнісної моделі, які необхідні для:

- 1) кількісної оцінки неготовності обладнання та складових елементів системи фізичного захисту;
- 2) кількісної оцінки частоти виникнення деяких рідких проєктних загроз;
- 3) кількісної оцінки частоти реалізації кінцевих станів аварійних послідовностей.

База даних по надійності обладнання є основою для виконання:

- 1) кількісної оцінки сумарної частоти переключення ядерних або інших радіоактивних матеріалів;
- 2) кількісного аналізу невизначеності отриманих результатів, їх важливості та чутливості.

Наявність представленої інформації по надійності обладнання системи фізичного захисту є необхідною умовою одержання адекватних результатів фізичного імовірнісного аналізу.

Основним джерелом вхідної інформації повинна бути експлуатаційна інформація системи фізичного захисту та її складових, що розглядається.

База даних по надійності обладнання та складових елементів системи фізичного захисту повинна включати в себе, як і незалежні випадкові відмови, так і відмови по загальній причині.

Слід зазначити, що при обробці статистичних даних по відмовам обладнання та складових елементів системи фізичного захисту, до уваги приймаються лише катастрофічні відмови.

Основна задача формування бази даних по надійності обладнання для цілей фізичного імовірнісного аналізу полягає у підготовці набору вхідних даних, необхідних для кількісної оцінки неготовності (I_{Σ}) тієї чи іншої одиниці обладнання виконати визначену функцію протягом необхідного часу:

$$I_{\Sigma} = I_{1\Sigma} + I_2 + I_3 \quad (2.1)$$

де, $I_{1\Sigma}$ – це сумарна неготовність обладнання системи фізичного захисту, що визначена його знаходженням в стані опробування, планового обслуговування або непланового ремонту;

I_2 – це неготовність обладнання системи фізичного захисту, що викликана його відмовою на потребу змінити свій вихідний стан;

I_3 – неготовність обладнання системи фізичного захисту, що викликана його відмовою в роботі при виконанні ним необхідної функції протягом визначеного часу.

Вказані складові неготовності обладнання системи фізичного захисту в тій чи іншій комбінації присвоюють «базовим подіям» дерева відмов відповідних систем, які є складовими елементами системи фізичного захисту.

В свою чергу, $I_{1\Sigma}$ розраховується за наступною формулою:

$$I_{1\Sigma} = I'_1 + I'_2 + I'_3 \quad (2.2)$$

$$I'_1 = f_m + T_m \quad (2.3)$$

де, f_m – частота планового обслуговування або планового ремонту обладнання системи фізичного захисту;

T_m – середній час непрацездатності обладнання системи фізичного захисту при проведенні планового обслуговування або планового ремонту.

$$I'_1 = \frac{\tau}{T} \quad (2.4)$$

де, τ – середній час опробування обладнання системи фізичного захисту;

T – часовий інтервал між опробуванням обладнання системи фізичного захисту.

$$I'_1 = (\lambda_1 T_1) + (\lambda_2 T_2) \quad (2.5)$$

де, λ_1 – інтенсивність відмов на потребу;

λ_2 – інтенсивність відмов в роботі;

T_1, T_2 – відповідний середній час непрацездатності з моменту відмови до початку роботи після ремонту.

2.6 Процедура виконання первинного збору інформації по відмовам обладнання СФЗ

Збір первинної інформації по відмовам відбувається за наступним алгоритмом:

Крок 1 – визначення переліку підконтрольного обладнання.

Крок 2 – визначення меж обладнання системи фізичного захисту.

Під межами кожного конкретного обладнання СФЗ, розуміється перелік вузлів, агрегатів, деталей та елементів, відмова яких безпосередньо веде до відмови даного обладнання.

Для того, щоб правильно та коректно встановити межі обладнання СФЗ, необхідно дотримуватися наступних умов:

1) Умова 1 – межі обладнання системи фізичного захисту, повинні по можливості, відповідати рівню деталізації «базових подій», що розглядаються в дереві відмов.

Адекватність рівня деталізації базових подій в свою чергу визначається наступними двома конкуруючими факторами моделювання дерева відмов: ДВ повинно бути достатньо наповненим, щоб не перенавантажувати імовірнісну модель базовими подіями; ДВ повинно бути достатньо точним, щоб в майбутньому, по результатах кількісних розрахунків аварійних послідовностей можна було визначити основні вкладники в подію на рівні окремої одиниці обладнання СФЗ.

Таким чином, першу ітерацію у встановленні меж обладнання системи фізичного захисту виконують по результатах кількісного аналізу систем та складових елементів СФЗ з врахуванням всіх існуючих міжсистемних зав'язків.

2) Умова 2 – межі обладнання системи фізичного захисту повинні відповідати рівню деталізації записів по відмовах.

Дана умова є додатковим конкурентним фактором при визначенні меж обладнання. Дотримання цієї вимоги може вимагати або розкладання базової події

на більш менші складові, або навпаки вимагати збільшення моделі до необхідного рівня.

Слід зазначити, що якщо розкладання виконується спеціалістами збору даних по надійності обладнання, без змін встановлених розробником дерева відмов меж обладнання, то таке поєднання базових подій до необхідного рівня є коректуванням раніше встановлених розробником дерева подій меж обладнання, і відповідно, відноситься до задач визначення (уточнення) меж обладнання системи фізичного захисту.

3) Умова 3 – межі обладнання системи фізичного захисту повинні бути погоджені між розробником дерева відмов та спеціалістами збору даних по надійності обладнання.

Необхідно детально перерахувати всі ті елементи обладнання системи фізичного захисту, що розглядаються, які безпосередньо взаємодіють з елементами інших (суміжних) систем: наприклад, система електропостачання, система управління, система контролю управління доступом (СКУД) і т.п.

4) Умова 4 – відмова будь-якого елемента, що включений до меж обладнання системи фізичного захисту, повинен впливати на працездатність виключно даного обладнання.

5) Умова 5 – елементи, що включені в межі обладнання системи фізичного захисту повинні обслуговуватися та проходити опробування з однаковою періодичністю та по одній і тій же стратегії.

Для виконання цієї вимоги можливо потрібно буде виконати розкладання базової події на складові частини. Ця робота виконується спеціалістами по надійності обладнання без зміни встановлених розробником дерева відмов меж обладнання.

Крок 3 – визначення режимів експлуатації, а також видів та періодичності контролю надійності обладнання системи фізичного захисту.

Для кожної одиниці обладнання системи фізичного захисту (із переліку підконтрольного обладнання) визначається:

1) режим роботи: постійно в роботі, в режимі очікування, змішаний режим, аварійний режим роботи;

2) види та періодичність контролю надійності обладнання СФЗ: періодичне випробування (1 раз на місяць, 1 раз на 3 місяці, 1 раз на планово-попереджувальний ремонт (ППР) і т.д.); не випробовується (протягом виробітку ресурсу обладнання або протягом всього періоду експлуатації); постійний контроль (моніторинг);

Крок 4 – об'єднання обладнання системи фізичного захисту в статистичні вибірки (мається на увазі групи обладнання) по ознакам ідентичності: тип, межі, режим експлуатації, стратегії контролю надійності та умов оточуючого середовища при експлуатації.

Крок 5 – збір первинних даних по відмовам, зокрема, окремо по кожній з виділених груп однотипного обладнання.

Основними джерелами даних при зборі первинної інформації по відмовам є:

- 1) оперативний журнал;
- 2) журнал дефектів;
- 3) журнал ремонтів;
- 4) конструкція обладнання і його основних частин;
- 5) регламент і графіки проведення опробувань;
- 6) журнал обслуговування та ремонтів складових елементів системи фізичного захисту.

Алгоритм проведення збору первинної інформації по відмовам обладнання наведено на рисунку 2.2.



Рисунок 2.2 – Алгоритм проведення збору первинної інформації по відмовам обладнання

2.7 Процедура проведення обробки зібраної первинної інформації по відмовам обладнання СФЗ

На основі вже отриманих даних відбувається обробка зібраної первинної інформації по відмовам обладнання та складових частин системи фізичного захисту:

Крок 1 – «збільшення» даних по відмовам.

Крок 2 – розрахунок параметрів надійності для кожної з однотипних груп обладнання системи фізичного захисту, що аналізується.

Крок 3 – вибір необхідного джерела загальних даних з наступним опрацюванням стаціонарних даних по надійності методом Байеса.

Крок 4 – оформлення результатів обробки первинної інформації по надійності обладнання системи фізичного захисту.

Алгоритм виконання обробки зібраної первинної інформації по відмовам обладнання зображено на рисунку 2.3.

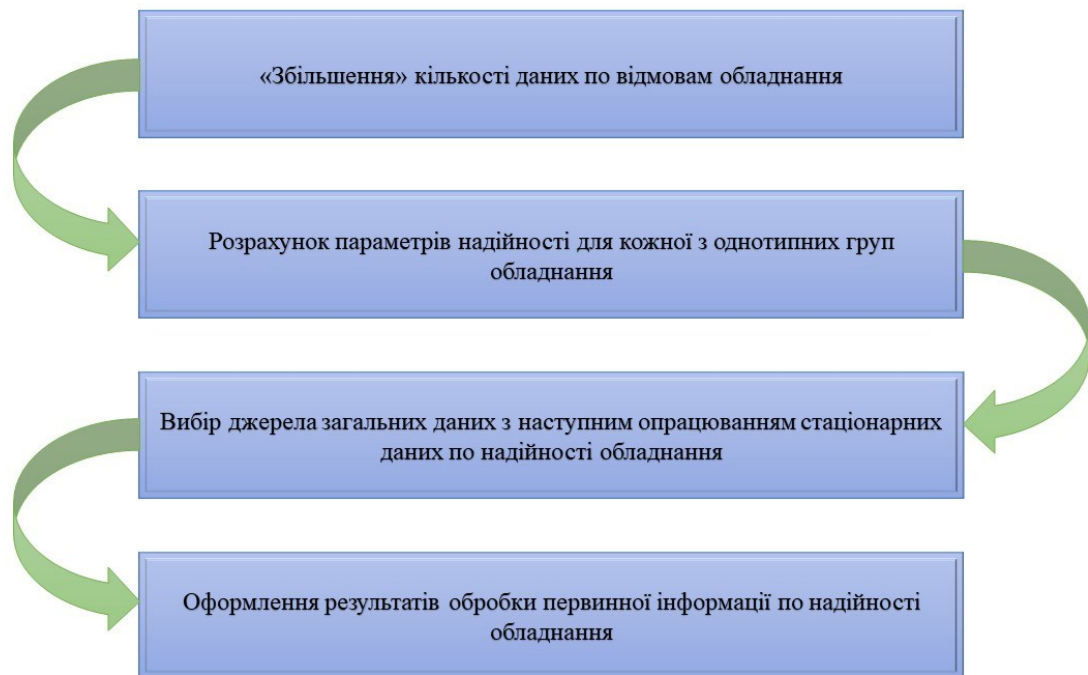


Рисунок 2.3 – Алгоритм проведення обробки зібраної первинної інформації по відмовам обладнання

Пряма/точкова оцінка інтенсивності відмов обладнання системи фізичного захисту розраховується за наступною формулою:

$$\lambda = \frac{N}{t} \quad (2.6)$$

де, N – загальна кількість катастрофічних відмов всіх елементів вибірки;

T – сумарний час напрацювання всіх елементів вибірки.

Верхня межа довірчого інтервалу визначається наступним чином:

$$\lambda' = \frac{\chi^2(1-\frac{\alpha}{2}; 2N)}{2T} \quad (2.7)$$

де, N – загальна кількість катастрофічних відмов всіх елементів вибірки;

T – сумарний час напрацювання всіх елементів даної вибірки;

χ^2 – розподілення для довірчої імовірності α з $2N$ степенем вільності.

Перерахунок інтенсивності відмов обладнання системи фізичного захисту методом Байеса матиме наступний вигляд:

$$\lambda = \frac{(2(N'+N)+1)}{(2(T'+T))} \quad (2.8)$$

де, N' - число відмов всіх елементів вибірки для апіорного розподілення;

T' - сумарний час напрацювання всіх елементів вибірки для апіорного розподілення;

N – число відмов всіх елементів даної вибірки;

T – сумарний час напрацювання всіх елементів даної вибірки.

Верхня межа довірчого інтервалу:

$$\lambda' = \frac{\chi^2((1-\frac{\alpha}{2}); 2(N'+N)+1)}{2T+2T'} \quad (2.9)$$

Нижня межа довірчого інтервалу:

$$\lambda' = \frac{\chi^2(\frac{\alpha}{2}; 2(N'+N)+1)}{2T+2T'} \quad (2.10)$$

де, χ^2 – розподілення для довірчої імовірності α з $2N$ степенем вільності;

Пряма/точкова оцінка імовірності відмови обладнання системи фізичного захисту на вимогу розраховується за наступною формулою:

$$P = \frac{N}{r} \quad (2.11)$$

де, N – кількість відмов на вимогу;

r – загальна кількість вимог.

Перерахунок імовірності відмов обладнання системи фізичного захисту на вимогу методом Байеса матиме наступний вигляд:

$$E_p = \frac{(2(N'+N)+1)}{(r'+r+1)} \quad (2.12)$$

де, N' - число відмов всіх елементів вибірки для апріорного розподілення;

N – число відмов всіх елементів даної вибірки;

r – загальна кількість вимог;

r' – загальна кількість вимог для апріорного розподілення.

Прийнято встановлювати наступні критерії відбору між результатами точкової оцінки параметру надійності та результатами оцінки методом Байеса:

1) в тих випадках, коли результати прямої оцінки та оцінки методом Байеса достатньо близькі, при цьому статистика про обладнання системи фізичного захисту достатньо повна – вибираються результати прямої оцінки;

2) якщо результати прямої оцінки та оцінки методом Байеса дуже відрізняються, при цьому пряма оцінка не відповідає повноті результатів після її проведення, а джерело загальних даних достовірне, то вибираються результати оцінки методом Байеса;

3) у випадку відсутності прийнятого джерела даних прийнято використовувати результати прямої оцінки.

Слід зауважити наступний факт, що у випадку з нульовою кількістю відмов за період спостереження за обладнанням системи фізичного захисту, інтенсивність відмов буде розраховуватися наступним чином:

$$\lambda = \frac{0.5}{T} \quad (2.13)$$

де, T – сумарний час напрацювання всіх елементів вибірки.

Формат реєстрації результатів обробки первинної інформації по надійності обладнання системи фізичного захисту виглядає наступним чином:

- 1) оперативне найменування обладнання системи фізичного захисту;
- 2) вид відмов обладнання системи фізичного захисту;
- 3) код групи з врахуванням коду виду відмови обладнання системи фізичного захисту;
- 4) одиниця виміру параметра надійності обладнання системи фізичного захисту;
- 5) середнє значення параметра надійності обладнання системи фізичного захисту, яке вибрано з вибірки (джерела узагальнених даних);
- 6) верхня або нижня межа довірчого інтервалу параметра надійності із джерела узагальнених даних;
- 7) назва джерела узагальнених даних;
- 8) сумарна кількість відмов для групи обладнання системи фізичного захисту, що розглядається;
- 9) періодичність випробувань або переходів по аварійно-відновлювальним роботам обладнання системи фізичного захисту в годинах;
- 10) сумарне напрацювання елементу системи фізичного захисту за весь період спостереження;
- 11) розрахункове значення параметру надійності для даної групи обладнання системи фізичного захисту, яке отримане тільки з використанням даних СФЗ, що аналізується;
- 12) середнє значення параметру надійності для даної групи обладнання СФЗ, яке отримане тільки після обробки методом Байеса;
- 13) верхнє або нижнє значення межі довірчого інтервалу параметра надійності, що отримане після обробки методом Байеса;
- 14) вибране значення параметра надійності.

Відповідно, алгоритм виконання робіт зі збору та оброблення даних по відмовам наступний:

- 1) визначення режимів експлуатації обладнання системи фізичного захисту, видів відмов, а також видів та періодичності його випробування та обслуговування;
- 2) об'єднання обладнання системи фізичного захисту в статистичні вибірки;
- 3) збір первинних даних по відмовам обладнання системи фізичного захисту;
- 4) «збільшення» даних по відмовам обладнання системи фізичного захисту;
- 5) розрахунок параметру надійності для кожної з однотипних груп обладнання системи фізичного захисту, що аналізується;
- 6) вибір необхідного джерела узагальнених даних з наступною обробкою стаціонарних даних по надійності методом Байеса;
- 7) оформлення результатів у вигляді таблиці.

Схематично даний алгоритм наведено на рисунку 2.4.

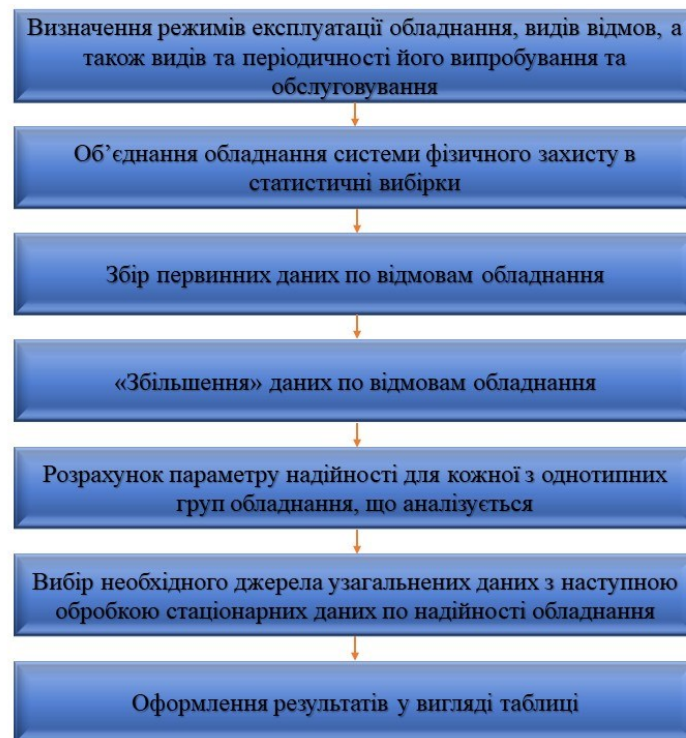


Рисунок 2.4 – Алгоритм виконання робіт зі збору та оброблення даних по відмовам обладнання

Під формування бази даних відмов обладнання системи фізичного захисту по загальній причині в рамках фізичного імовірнісного аналізу, розуміється одночасна відмова двох або більше однотипних елементів СФЗ по одній і тій же загальній причині. Якщо дивитись в загальному, то відмова по загальній причині – це і є різновид залежних відмов.

2.8 Категоризація залежних відмов обладнання СФЗ та формування бази даних відмов по загальній причині

Під терміном «залежна відмова», мається на увазі багаторазова відмова декількох елементів, імовірність відмови яких не може бути виражена просто як відношення незалежних відмов окремо взятих об'єктів.

Однією з особливостей залежних відмов є те, що в якійсь мірі вони можуть «виразити»:

- 1) степінь резервації обладнання системи фізичного захисту;
- 2) частково «різні за принципом роботи/дії» елементи системи фізичного захисту;
- 3) бар'єри безпеки, що передбачені системою фізичного захисту.

Необхідність виявлення, проведення аналізу та кількісної оцінки залежних відмов обладнання системи фізичного захисту у фізичному імовірнісному аналізі полягає в тому, що це:

- 1) дозволяє уникнути «недооцінки» величини ризику;
- 2) дозволяє виявити вразливі «місця» в проєкті системи фізичного захисту, зокрема і в процесі її експлуатації.

Виділяють наступні основні категорії залежних відмов обладнання системи фізичного захисту:

1. Категорія 1 – функціональні залежності. Дана категорія включає в себе залежності між системами або компонентами системи фізичного захисту, які обумовлені наявністю якогось спільного обладнання (елементу, частини системи фізичного захисту і т.д.) або ж залежності між окремими «ланками» в одному

ланцюгу технологічного процесу, наприклад наявність загального джерела енергопостачання, необхідність відкриття транспортних воріт для реагування.

2. Категорія 2 – фізичні залежності. Ця категорія включає в себе велику кількість залежних відмов, які безпосередньо викликані початковими умовами, що обумовлені, наприклад диверсією/саботажем (пожежа, затоплення, задимлення і т.п.).

Слід зазначити, що вказані залежності моделюються в явному вигляді, як на рівні дерева відмов, так і на рівні дерева подій.

3. Категорія 3 – залежності між окремими людино-машинними взаємодіями. Дана категорія включає в себе залежні відмови обладнання системи фізичного захисту або функціональні відмови, що викликані помилками персоналу при виконанні аналізу (діагностики) ситуації, або прийнятті відповідних рішень, чи виконанні певних «механічних» дій.

Вказані залежності кількісно оцінюються при аналізі надійності персоналу та моделюються в явному вигляді, як на рівні дерева відмов, так і на рівні дерева подій.

4. Категорія 4 – відмови по загальній причині. В рамках фізичного імовірнісного аналізу під відмовою по загальній причині розуміють одночасну відмову двох або більше однотипних елементів по одній і тій же загальній причині.

Вказані залежності моделюються в неявному або явному вигляді на рівні дерева відмов.

Механізм розповсюдження залежних відмов наведено на рисунку 2.5.

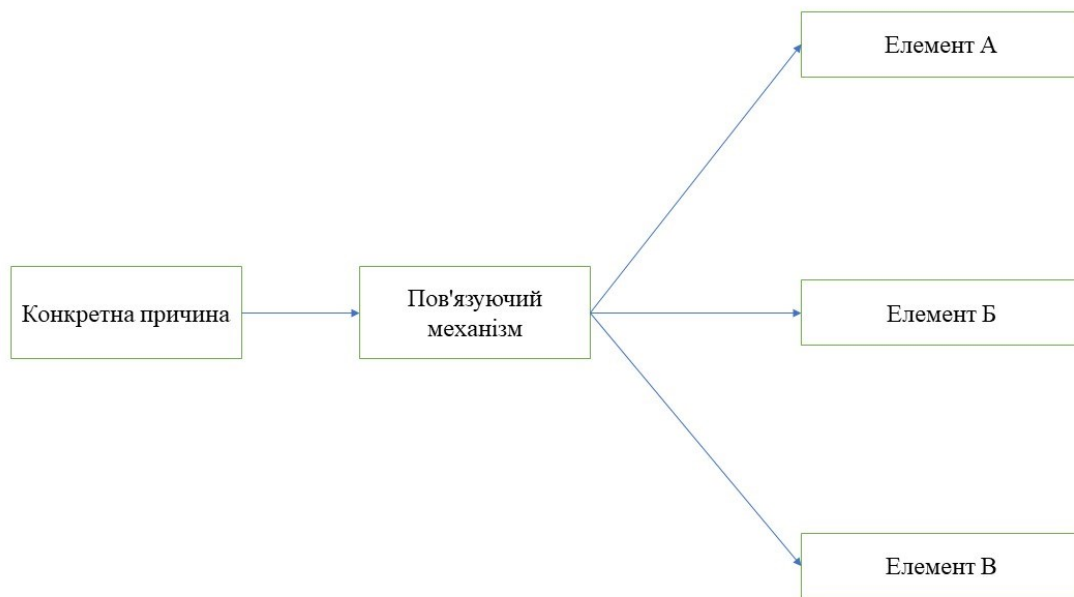


Рисунок 2.5 – Механізм розповсюдження залежних відмов

Основні процедурні кроки формування бази даних відмов по загальній причині:

Крок 1 – розробка логічної моделі системи фізичного захисту:

- 1) детальне вивчення та описання режимів роботи елементів системи фізичного захисту;
- 2) безпосередньо розробка логічної моделі системи фізичного захисту.

Крок 2 – виявлення відмов груп елементів системи фізичного захисту, які схильні до відмов по загальним причинам;

- 1) якісний відбір складових системи фізичного захисту в групи відмов по загальній причині;
- 2) кількісний відбір складових системи фізичного захисту в групи відмов по загальній причині.

Крок 3 – моделювання відмов по загальній причині. Визначення фінального переліку базисних подій дерева відмов з відмовами по загальній причині: вибір

параметричної моделі відмов по загальній причині та кількісна оцінка параметрів відмов по загальній причині.

Алгоритм формування бази даних відмов по загальній причині зображено на рисунку 2.6.

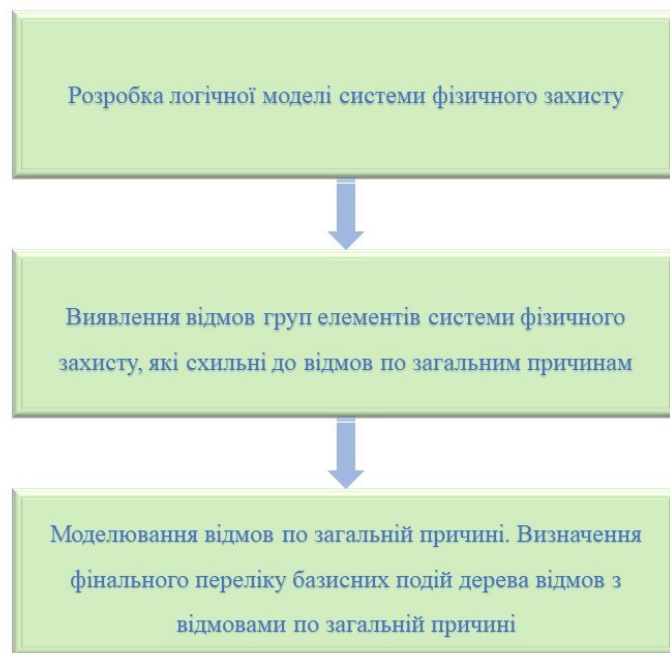


Рисунок 2.6 – Алгоритм формування бази даних відмов по загальній причині

Якісний відбір складових елементів системи фізичного захисту в групи відмов по загальній причині полягає:

1) у виявленні можливої причинно-наслідкової залежності між елементами системи фізичного захисту на основі аналізу ідентичності наступних основних подій: призначення елемента, його тип і конструктивні особливості, місце знаходження, процедури випробувань-обслуговувань, завод виробник, умови навколишнього середовища і т.д.;

2) у виявленні корінної причини можливих відмов по загальній причині та визначенні відповідного механізму, що пов'язує формування попередніх груп відмов по загальній причині;

3) в аналізі адекватності реалізованих в проєкті мір по захисту від відмов по загальній причині.

Кількісний відбір кандидатів в групи відмов по загальних причинах полягає:

1) у впровадженні в модель системи (безпосередньо в дерево відмов) додаткових базисних подій – в даному випадку мається на увазі відмови по загальних причинах;

2) у присвоєнні консервативних числових значень імовірності відмов по загальній причині;

3) у кількісному розрахунку дерева відмов: виключення із подальшого аналізу всіх «неіснуючих» груп відмов по загальній причині.

Вибір параметричної моделі відмов по загальній причині та кількісна оцінка параметрів відмов по загальній причині. Вимоги до «ідеальної» параметричної моделі наступні: простота, універсальність, однозначність параметрів, сумісність з існуючими джерелами даних, адекватність врахування специфічних факторів для системи, що моделюється.

Існують різні параметричні моделі для кількісної оцінки імовірності відмов по загальній причині:

- 1) модель базового параметру;
- 2) модель β -фактору;
- 3) модель грецьких букв;
- 4) модель α -фактору;
- 5) біноміальна модель.

Модель базового параметру забезпечує найбільш простий та точний спосіб розрахунку мінімальних перерізів. Зазвичай дану модель використовують при наявності повної статистики відмов по загальній причині.

Модель β -фактору найбільш проста та рекомендується для оціночних розрахунків. Основний недолік – консерватизм при оцінці відмов по загальній причині структур з глибоким резервуванням.

Модель грецьких букв має один великий недолік – дуже важко отримати достовірні значення відповідних параметрів, що мають основний вплив на оцінку надійності системи фізичного захисту.

Модель α -фактору надає можливість адекватно врахувати відмови по загальній причині для багатоканальних систем, яка заснована на відношенні інтенсивності відмов. Дана модель використовує статистичну модель та дозволяє отримати більш точні точкові оцінки і їх невизначеності в порівнянні з іншими моделями.

Основними задачами формування бази даних відмов по загальних причинах:

- 1) отримати додатковий перелік проєктних загроз;
- 2) отримати інформацію про реальну зворотну реакцію системи фізичного захисту на порушення/випадок для розроблення адекватної моделі системи фізичного захисту, особливо в частині дій персоналу.

Основними джерелами інформації для формування бази даних подій, що пов'язані з фізичним захистом ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів є:

- 1) протоколи затримання правопорушників;
- 2) звіти про розслідування подій;
- 3) пояснення затриманих порушників.

Формування бази даних подій з фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання відбувається з врахуванням набору необхідної для цього інформації. При цьому встановлюються наступні вимоги до складу та змісту документування:

- 1) наявність посилання на відповідний протокол затримання;
- 2) короткий опис правопорушення чи події: вихідний стан – режим функціонування системи фізичного захисту; хронологія спрацювання датчиків,

перелік задіяних систем чи обладнання системи фізичного захисту; перелік відмов обладнання системи фізичного захисту і/або помилок персоналу в процесі виявлення, затримання та реагування; час на виконання ключових дій і т.п.;

- 3) класифікація загроз, прийняті міри та аналіз їх адекватності;
- 4) рішення про врахування чи неврахування відповідної події при розрахунку частоти проєктної загрози.

Побудова дерева подій ґрунтується на бінарній логіці, наприклад для цього необхідно встановити відповідність між дискретними станами системи та окремих елементів системи фізичного захисту.

Важливим аспектом при цьому є відповідні критерії успіху функцій безпеки системи фізичного захисту.

Формування критеріїв успіху функцій безпеки системи фізичного захисту відбувається в декілька етапів:

Крок 1 – визначення критеріїв прийнятності;

Крок 2 – попереднє визначення критеріїв успіху функцій безпеки системи фізичного захисту;

Крок 3 – уточнена оцінка критеріїв успіху функцій безпеки системи фізичного захисту.

Узагальнено, процес формування критеріїв успіху функцій безпеки зображено на рисунку 2.7.

Більш детальне описання процесу формування критеріїв успіху функцій безпеки наведено в розділі 3.

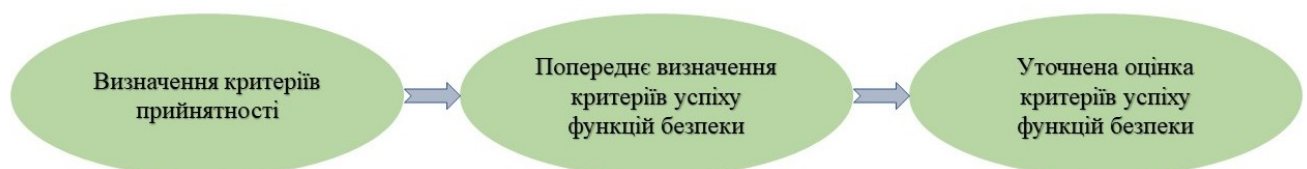


Рисунок 2.7 – Процес формування критеріїв успіху функцій безпеки

2.9 Моделювання дій персоналу та кількісна оцінка імовірності помилок персоналу

Важливим кроком в розробці моделі фізичного захисту є моделювання дій персоналу та кількісна оцінка імовірності помилок персоналу. Наприклад, для традиційного імовірнісного аналізу безпеки АЕС, вклад помилок персоналу в ЧПАЗ реактора може досягати від 40 до 60 % [29]. Відповідно, щоб адекватно змодельовати дії персоналу та кількісно оцінити імовірність помилок персоналу, як у традиційному імовірнісному аналізі безпеки АЕС, так і у фізичному імовірнісному аналізі, необхідно приділити особливу увагу задачі «Аналіз надійності персоналу». Кінцева ціль виконання даного аналізу – виявити всі ключові дії персоналу та кількісно оцінити імовірність їх помилкового виконання. В даному випадку, додатковою задачею може бути розробка моделей потенційного правопорушника з врахуванням його намірів та можливостей.

Складність розробки математичної моделі в даній ситуації полягає у врахуванні адекватного відображення поведінки людини. Тому з'являються значні невизначеності в результуючих значеннях відмов, що зумовлені помилками персоналу. Ще однією причиною є недостатня кількість вхідних даних. Спектр методів оцінки вкладу помилок персоналу різний та кожен з них має свої переваги та недоліки. Для того, щоб вірно вибрати метод оцінки та адекватного його застосувати, необхідно мати відповідний досвід.

У традиційному ІАБ АЕС, всі дії персоналу, що в ньому моделюються, еквівалентні діям персоналу, що визначаються у фізичному імовірнісному аналізі та діляться на три категорії:

- 1) дії персоналу типу «А» - доаварійні дії персоналу;
- 2) дії персоналу типу «Б» - дії персоналу, що призводять до появи проектної загрози;
- 3) дії персоналу типу «С» - після аварійні дії персоналу по реагуванню на проектні загрози.

Так, прикладом помилок персоналу типу «А» може бути неправильне налаштування датчиків, приведення елементу «Вкл/Викл» в нерегламентне положення, не повернення елементу системи фізичного захисту в початкове положення після обслуговування, не підключення елементу системи фізичного захисту по живленню і т.п.

Прикладом помилок персоналу типу «Б» можуть бути дії, які призвели до такої події, як диверсія чи саботаж.

Прикладом помилок персоналу типу «С» є помилка виявлення, невірна оцінка сигналізації, помилка оповіщення, пізнє реагування і т.д.

В свою чергу дії персоналу типу «С» діляться на наступні підгрупи:

- 1) дії персоналу типу «С₁» - дублюючі дії автоматики по введенню системи, підсистеми, елементу системи фізичного захисту в роботу;
- 2) дії персоналу типу «С₂» - процедурні дії персоналу, що прописані в інструкції або очікувані дії, що диктуються конкретним сценарієм розвитку проєктної загрози;
- 3) дії персоналу типу «С₃» - відновлювальні дії персоналу, до яких відносяться описані в інструкціях дії, направлені на відновлення обладнання системи фізичного захисту, що відмовило, або використання альтернативних систем, що для виправлення допущених раніше помилок і т.п.

Для аналізу надійності персоналу використовується спрощена методологія, яка складається з трьох основних підзадач:

- 1) виявлення та описання всіх дій персоналу, які приймають участь в імовірнісній моделі системи фізичного захисту;
- 2) відбір найбільш важливих дій персоналу;
- 3) якісний аналіз дій персоналу, вибір методу оцінки імовірності помилок персоналу та кількісна оцінка імовірності помилок персоналу.

Розроблення переліку дій персоналу полягає в ідентифікації всіх дій персоналу, які так або інше можуть впливати на:

- 1) неготовність підсистем та обладнання системи фізичного захисту;
- 2) частоту виникнення проєктних загроз;

3) успішне реагування на утворену подію.

Кожній із виявлених дій персоналу додається чітке визначення з вказанням функціональних меж, складу, а також степені впливу на імовірнісну модель системи фізичного захисту.

Для виконання вищезгаданих підзадач необхідна наступна інформація:

- 1) досвід оперативно-ремонтного персоналу;
- 2) інструкції та регламенти;
- 3) дані про надійність персоналу, що отримані під час тренувань;
- 4) наявності, досвід уже виконаних фізичних імовірнісних аналізів;
- 5) база даних по подіях у фізичному імовірнісному аналізі.

Результатом виконання першої підзадачі в основному являється занадто велика кількість виявлених дій персоналу.

Через обмеження ресурсів проєкту фізичного імовірнісного аналізу, виконується відбір лише критичних дій персоналу.

Відбір дій персоналу виконується, як на якісному, так і на кількісному рівнях.

Кількісний відбір дій персоналу виконується, як правило, з використанням консервативних значень імовірності відмов персоналу в імовірнісній моделі.

Як наслідок, в результаті попередньої кількісної оцінки відбувається відокремлення дій персоналу, які є малозначущими.

Особливістю аналізу дій персоналу є наявність залежності між їхніми діями. Розглядається три категорії такої залежності:

- 1) часова залежність;
- 2) залежність в рамках дій персоналу;
- 3) залежність на рівні мінімальних перерізів.

Часова залежність полягає в тому, що з'являються залежності між часом, доступним для розпізнавання/прийняття рішення, і часу, який необхідний для виконання механічних дій. Час на процес обдумування оцінюється виходячи з того, що запас часу на розпізнавання відповідної дії залежить від часу, що необхідний для виконання механічних дій. Найбільш простим підходом є визначення часу обслуговування шляхом віднімання часу для виконання механічних дій від всього

загального часу, і використання даного значення для визначення імовірності помилок персоналу на прийняття відповідних рішень.

При виконанні послідовних дій, час завершення однієї дії має як прямий вплив на час, який доступний для виконання наступної дії, так і не прямий, при якому попереднє виконання першої дії викликає швидку або повільну зміну в роботі системи фізичного захисту.

Для врахування залежності в рамках дій персоналу необхідно зробити консервативні допущення по відношенню до модельованої АП: час для виконання першої дії необхідно вибрати так, щоб зменшити наявний час для наступних дій. Значимість бажаного припущення може буде перевірена шляхом виконання аналізу чутливості. Якщо це значення занадто консервативне, повинні бути зроблені більш реалістичні допущення.

Бувають випадки, коли у персоналу є декілька шляхів для успішного виконання функції в межах часу обдумування і ці шляхи зазвичай вказані в інструкціях. Час, що затрачений на виконання першої дії впливає на наявний час для виконання наступної дії. Це необхідно врахувати, особливо, якщо аварійний сценарій вимагає використання варіанту, що відрізняється від звичайного, який використовується персоналом. У випадку, коли персонал погано знає альтернативний варіант, в апріорі приймається відмова на його виконання.

По завершенню моделювання дій персоналу, виконується кінцевий перегляд дій персоналу та дерева подій з ціллю ідентифікації всіх залежних дій персоналу. При цьому необхідно враховувати наступні фактори:

- 1) при виконанні декількох дій однією особою, дії рахуються незалежними між собою, якщо особа має достатній запас часу на послідовне виконання дій;
- 2) при виконанні декількох дій в обмежений проміжок часу, дії рахуються незалежними, якщо можливо їх виконати одночасно різними особами;
- 3) дії, що виконуються однією особою з різних, далеко розташованих одна від одної панелей (пультів), рахуються незалежними;

4) діагностичні дії, направлені на виконання різних функцій безпеки, що розглядаються, вважаються незалежними.

Співвідношення наявного часу на основі якого визначається рівень залежності для залежних дій наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Співвідношення часу на основі якого визначається рівень залежності для залежних дій

Наявний час, хв	Рівень залежності
$0 < t < 2$	Повна
$2 < t < 15$	Висока
$15 < t < 30$	Помірна
$30 < t < 60$	Низька
$60 < t$	Нульова

В результаті виконання кількісних розрахунків АП, можуть бути отримані перерізи з двома і більше базовими подіями, а саме діями персоналу. В даному випадку аналізуються можливі залежності між ними. Дана процедура виконання аналізу залежності аналогічна виконанню аналізу залежності в рамках дерева подій.

При виконанні аналізу залежності розглядаються наступні визначаючі фактори:

- 1) загальний час обмеження для виконання задач;
- 2) загальний порядок виконання задач;
- 3) загальна діагностика;
- 4) загальні функції або системи при виконанні задач;
- 5) загальні процедурні кроки для виконання задач;
- 6) загальний персонал та робочі місця для виконання задач;
- 7) загальні фактори, що впливають на поведінку персоналу.

Якісний аналіз дій персоналу типу «А» полягає в основному у зборі більш детальної інформації про періодичність обходів відповідного обладнання, про

процедуру виконання обслуговування та опробування, а також, передбачених інструкціями дій, які направлені на підтвердження працездатності систем або елементів системи фізичного захисту по закінченню їх опробування чи ремонту.

Дії персоналу типу «А» моделюються одним-двома базовими подіями в системних деревах відмов.

Основні типи базових подій дій персоналу типу «А»:

- 1) помилка пропуску правильної дії ($P_1=0,02$);
- 2) помилка виконання правильної дії ($P_2=0,01$);
- 3) фактор відновлення ($\Phi B=0,1-0,01$);
- 4) сумарна імовірність дій персоналу типу «А» - $P = (P_1 + P_2)\Phi B$.

Якісний аналіз дій персоналу типу «Б» головним чином направлений на збір додаткової інформації про помилки, які можуть ініціювати початкові умови або сприяти виникненню початкових умов. Помилки персоналу типу «Б» можуть явно або не явно враховуватись при розрахунку частот проєктних загроз.

Виконання кількісного аналізу дій персоналу типу «Б» аналогічне виконанню кількісного аналізу дій персоналу типу «С», що описаний далі.

Дії персоналу типу «С» діляться на наступні складові частини:

- 1) помилки оператора у виявленні факту порушення або в діагностиці ситуації, або ж в прийнятті правильного рішення протягом наявного часу (P_d);
- 2) помилки оператора у виконанні механічних дій протягом часу, що розглядається (P_a).

Попередньо, перед тим, як приступати до оцінки P_d , P_a , а також до повної імовірності відмов персоналу типу «С», необхідно:

- 1) дати чітке визначення діям персоналу зі зазначенням часу, що розглядається;
- 2) проаналізувати всі фактори, які так або інакше впливають на прийняття правильного рішення і грамотного виконання необхідних дій: якість процедур, місце виконання дій персоналу, наявність достатньої індикації та сигналізації, зовнішні умови, рівень підготовки та досвід персоналу, рівень стресу і т.д.

Під розробкою дерева подій дій персоналу мається на увазі графічна форма аналізу дій персоналу, де індивідуальні підзадачі об'єднані в логічний ланцюг, що дозволяє оцінити повну імовірність відмов персоналу.

Наприклад, маємо два турнікети на контрольно-пропускному пункті, прохід яких контролюють працівники фізичного захисту. Перший турнікет позначимо як «А», другий – «Б». Оскільки дерево подій дій персоналу є бінарним деревом, тому сума імовірностей в кожній гілці повинна бути рівною одиниці.

Математично дерево подій дій персоналу виглядатиме наступним чином:

1) Для послідовних систем:

$$F = 1 - a\left(\frac{b}{a}\right) \quad \text{або} \quad a\left(\frac{B}{A}\right) + A\left(\frac{b}{A} + \frac{B}{A}\right) = a\left(\frac{B}{A}\right) + A \quad (2.14)$$

2) Для паралельних систем:

$$F = A\left(\frac{B}{A}\right) \quad \text{або} \quad F = 1 - a\left(\frac{b}{a}\right) + a\left(\frac{B}{A}\right) + A\left(\frac{b}{A}\right) \quad (2.15)$$

Оцінка імовірності помилки персоналу при виконанні діагностичних дій P_d , а також фактору відновлення RF_d наступна:

Випадок «А» - діагностика та прийняття (з точки зору дефіциту часу) над розпізнаванням того, що подія відбулася:

1. Крок 1 – оцінити наявний час на розпізнавання події, її діагностику та прийняття рішення $T_d = T_p - T_u - T_{md}$:

а) визначити сумарний запас часу T_p , сумарний час на: розпізнавання факту порушення, формування задачі; виконання задачі до початку незворотних погіршень параметрів;

б) час появи індикації/сигналізації (T_u);

в) час на виконання всіх операцій (T_{md}), що оснований на даних тренажеру або думці персоналу.

Відповідно до документа «Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications» [30] надаються наступні рекомендації по оцінці наявного часу на розпізнання подій, діагностику та прийняття рішень:

- а) одна хвилина на одну операцію на пульті, що виконується з оперативної панелі;
- б) дві хвилини на одну операцію на пульті, що виконується не з оперативної панелі;
- в) реальний проміжок часу на виконання дій на місці, за межами пульта охорони.

2. Крок 2 – виконання кількісної оцінки P_d . Кількісне значення P_d визначається за допомогою так званих кривих Свейна.

Випадок «Б» - коли домінує реакція персоналу на своєчасне і правильне розпізнавання порушення. В даному випадку використовується модель розпізнавання для оцінки P_d .

3. Крок 3 – оцінити фактор відновлення RF_d . Оцінюється у випадку першочергово неправильної діагностики, якщо дозволяють умови.

Аналіз можливості відновлювальних дій персоналу виконується, як правило, на якісному рівні з врахуванням наступних факторів:

- 1) наявність індикації/сигналізації обладнання, що відмовило;
- 2) пошук шляхів та способів виконання відновлювальних дій з врахуванням рівня підготовки та досвіду персоналу;
- 3) порівняння часу, який необхідний на виконання відновлювальних дій персоналу з запасом часу, що залишається для виконання необхідної дії;
- 4) фізична можливість доступу до відновлювального або альтернативного обладнання для виконання необхідних дій.

Існують наступні можливі способи включення базових подій типу «імовірність помилок персоналу» в загальну структуру імовірнісної моделі системи фізичного захисту:

1) дії персоналу типу «С₁» та «С₂» можуть включатися в імовірнісну модель у вигляді базових станів на рівні дерева подій, функціональних дерев відмов або системних дерев відмов;

2) дії персоналу типу «С₃» можуть безпосередньо включатися в мінімальні критичні перерізи домінантних АП.

2.10 Побудова дерева подій та основні процедурні кроки розробки дерева подій

В загальному, ціль розроблення дерева подій – це створити максимально правдоподібну фізичну імовірнісну модель зворотної реакції системи фізичного захисту на відповідну початкову подію.

В загальному, дерево подій це логічна діаграма на систематичному рівні деталізації, яка на індуктивній основі описує можливі сценарії розвитку аварій в залежності від комбінацій відмов систем та помилок персоналу. Дерево подій відображає, головним чином непроєктні сценарії розвитку проєктних загроз.

Дерево подій складається із набору АП, кожна з яких характеризується конкретним сценарієм розвитку та кінцевим станом.

Зазвичай використовують два методи побудови дерева подій:

1) метод «малих дерев подій і великих дерев відмов». На рівні дерева подій в явному вигляді моделюються тільки феноменологічні або функціональні залежності. Залежності між захисними та забезпечуючими системами в явному вигляді моделюються на рівні дерев відмов;

2) метод «великих дерев подій та малих дерев відмов». Дерево подій в даному випадку має певні граничні умови.

Основні процедурні кроки побудови дерева подій:

Крок 1 – визначення переліку проєктних загроз для наступного моделювання.

Крок 2 – формування визначення поняття «кінцевий стан»: визначається повнота набору необхідних систем та дій персоналу.

Основні вимоги досягнення успішного кінцевого стану:

- 1) відбулася така подія, як переривання;
- 2) повернутий контроль над ядерними матеріалами/радіоактивними відходами;
- 3) повернутий контроль над ядерною установкою;
- 4) протягом наступних 24-х годин не очікується будь-яких змін, які можуть прямо чи опосередковано призвести до порушення будь-яких із вищезазначених умов.

Крок 3 – визначення набору верхніх подій та порядку їх розташування в структурі дерева подій. Визначення набору верхніх подій базується на визначенні функцій безпеки, які необхідні для проєктного протікання сценарію або ж обмеження наслідків. Складові системи фізичного захисту, робота яких необхідна для виконання функцій безпеки, а також відповідні критерії успіху виконання функцій безпеки, являються верхніми подіями дерева подій.

Порядок розміщення верхніх подій визначається наступними умовами:

- 1) порядок розташування систем та складових системи фізичного захисту в структурі дерева подій, по можливості, повинен відповідати проєктній хронології їх спрацювання у відповідь на виникнення та розвиток проєктної загрози;
- 2) порядок розташування верхніх подій не повинен призводити до порушення або втрати системно-функціональної залежності, що відображає специфіку розвитку тієї чи іншої аварійної послідовності в умовах даної проєктної загрози.

Крок 4 – моделювання функціональних та систематичних дерев подій. Даний етап включає в себе визначення залежності на рівні функцій, підфункцій. Визначення залежності на рівні захисних систем з уточненням критеріїв успіху по кожній з цих систем. Критерії успіху уточнюються з врахуванням негативних наслідків систем, які раніше відмовили, а також з врахуванням специфічних небажаних впливів, які безпосередньо викликані реалізацією проєктної загрози. Визначення кінцевих станів з «вразливою» ядерною установкою та «вразливими» ядерними матеріалами/радіоактивними відходами з ціллю їх подальшого аналізу.

Крок 5 – спрощення дерева подій, зокрема перерозподіл верхніх подій з ціллю мінімізації кількості вузлових точок розгалуження АП.

Крок 6 – визначення точок переростання аварійних сценаріїв із даного дерева подій в сценарії розвитку проєктних загроз інших дерев подій. Критерій необхідності переадресування АП даного дерева подій в інше дерево подій – заміна їх критерію успіху.

Крок 7 – Аналіз АП з «вразливими» КС.

Крок 8 – Описання вихідної події та аварійних послідовностей.

Склад та зміст опису дерева подій наступний:

- 1) коротка характеристика проєктної загрози;
- 2) основні ознаки порушення;
- 3) основні дії систем автоматики;
- 4) основні дії персоналу;
- 5) функції та системи, що впливають на переривання;
- 6) системне дерево подій;
- 7) основні положення та допущення;
- 8) описання АП та їх КС.

Алгоритм побудови дерева подій зображено на рисунку 2.8.



Рисунок 2.8 – Алгоритм побудови дерева подій

2.11 Особливості побудови дерева відмов

Ціллю якісного та кількісного аналізу системи фізичного захисту, зокрема, і її складових – виявлення та кількісна оцінка можливих комбінацій відмов її елементів і/або помилок персоналу, які свідомо приводять систему фізичного захисту чи її складові частини у непрацездатний стан.

В основному це реалізується за рахунок побудови дерева відмов.

Дерево відмов – це логічна діаграма, яка відображає мінімальний набір обладнання системи і дій персоналу, які необхідні для виконання даною системою зарання визначених функцій безпеки.

Під базовою подією розуміється найпростіша структурна одиниця дерева відмов, що описує одиничну відмову по загальній причині, неготовність системи в результаті опробування чи обслуговування, помилки персоналу, логічний перемикач, суперкомпонент або будь-яку іншу подію, що не потребує наступного поділу на складові частини.

Детальне дерево відмов – це дерево відмов, яке включає всі можливі види відмов обладнання технологічних схем.

Детальні дерева відмов розробляються для моделювання:

- 1) фронтальних систем;
- 2) систем забезпечення, відмови яких можуть призвести до непрацездатності відразу двох і більше інших систем забезпечення.

Спрощене дерево відмов – це таке дерево відмов, де відображаються не всі елементи систем та види їх відмов, а тільки найбільш важливі із них.

Для прийняття рішення про спрощення моделі, необхідний певний досвід виконання імовірнісного аналізу та хороші знання про систему фізичного захисту, її складові та їх взаємозалежності.

Суперкомполит (суперкомпонент) – це особливий вид базової події, під яким розуміється деякий складний агрегат або навіть ціла система.

Суперкомполит дозволяється застосовувати тільки по відношенню до таких агрегатів, частин систем чи цілих систем, які не мають міжсистемних зав'язків.

Логічний оператор – це елемент дерева відмов за допомогою якого реалізується логіка дерева відмов. Основними логічними операторами в дереві відмов є «і» чи «або» та мажоритарний оператор «n/m».

Умовні оператори – це логічні відмови (не «і», не «або»), вони застосовуються для адекватного відображення в структурі дерева подій (дерева відмов) деяких специфічних умов, що накладаються тими або іншими проєктними загрозами.

Верхня подія дерева відмов – це умова верхнього рівня, що визначає критерії успіху виконання системою необхідних функцій.

Верхня подія визначає логіку та склад дерева відмов. Для систем безпеки верхня подія визначається із відповідного дерева подій. Для систем забезпечення, верхні події визначаються критеріями успіху відповідної системи забезпечення.

Логічний оператор «і» - це логічне множення подій, яке показує, що результуючі події виникають тільки тоді, коли відбуваються всі події низького рівня. Оператор «і» може об'єднувати будь-яку кількість подій, що надходять на його вхід.

Логічний оператор «або» - це логічне складання подій, яке показує, що результуюча подія виникає тільки тоді, коли відбувається одна або більше однієї події низького рівня. Оператор «або» може об'єднувати будь-яку кількість подій, що надходять на його вхід.

Логічний оператор «n/m» - це окремий випадок оператора «або». Він визначає, що для того, щоб відбулася результуюча подія більш високого рівня, повинно відбутися «n» з «m» подій. Щоб кількісно оцінити кожне дерево відмов, необхідно виконати наступні кроки:

- 1) визначення складу та вмісту верхніх подій;
- 2) детальне опрацювання всієї вхідної інформації про відповідну систему, яка наявна в базі даних по системах;
- 3) визначення необхідної кількості дерев відмов та степені деталізації їх розробки для відповідної системи;

4) визначення критеріїв успіху для відповідної системи безпеки та побудова відповідного дерева відмов з вказанням міжсистемних зв'язків з деревом відмов відповідної системи забезпечення;

5) визначення складу, вмісту критеріїв успіху верхньої події для відповідної системи забезпечення;

6) послідовне виконання пунктів 2,3,4 для всіх систем забезпечення моделі;

7) кількісна оцінка кожного дерева відмов, що представляє систему в два етапи: перший – розрахунок з відключеними міжсистемними зв'язками, другий – розрахунок з підключеними міжсистемними зв'язками.

Алгоритм побудови дерева відмов зображено на рисунку 2.9.

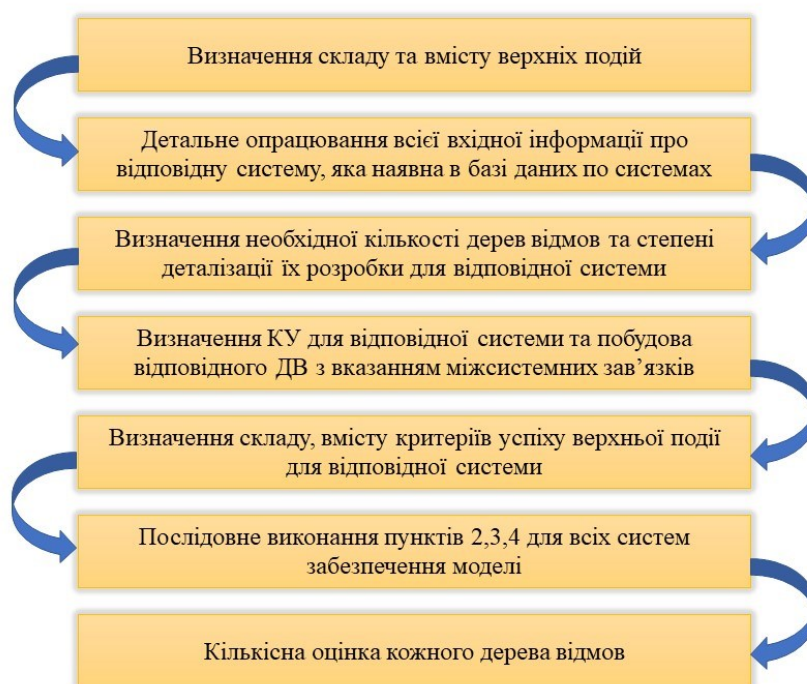


Рисунок 2.9 – Алгоритм побудови дерева відмов

Розробка дерев відмов здійснюється для того, щоб:

1) кількісно оцінити «небажану подію» від кожної із змодельованих аварійних послідовностей та дерева подій в цілому;

2) кількісно оцінити невизначеності отриманих значень;

3) виконати аналіз чутливості отриманих результатів до прийнятих при моделюванні допущень та пропозицій;

4) виконати аналіз значимості кожної одиниці обладнання з точки зору впливу її працездатності або непрацездатності на сумарну частоту виникнення «негативної події».

2.12 Алгоритм виконання фізичного імовірнісного аналізу

В загальному, для виконання фізичного імовірнісного аналізу необхідно дотримуватись наступного алгоритму:

Крок 1 – збірка моделі, тобто злиття дерева подій – дерева відмов. Виконання даного злиття полягає в: під'єднанні дерева відмов систем забезпечення до дерева відмов відповідних захисних систем; під'єднанні дерева відмов захисних систем до «верхніх подій» дерева подій.

Крок 2 – виконання попередніх кількісних розрахунків, яке полягає в:

1) присвоєнні консервативних значень для відмов по загальній причині, імовірностей помилок персоналу та повної залежності для всіх типів людино-машинних взаємодій базовим подіям;

2) кількісному розрахунку аварійних подій, а саме, генеруванні набору мінімальних-критичних перерізів;

3) аналізі мінімально-критичних перерізів для визначення та виявлення: адекватності «порогу відсікання» при розрахунку; взаємовиключаючих базових подій в межах окремих мінімально-критичних перерізів з наступним їх редагуванням; занадто консервативних допущень з ціллю їх більш детального аналізу.

Мінімально-критичні перерізи не повинні мати:

1) більше одного виду відмов для одного і того ж елемента;

2) елементи, які «успішно» відпрацювали в аварійній послідовності, що розглядається;

- 3) знаходження в стані ремонту-обслуговування двох і більше елементів систем захисту в порушення вимог регламенту;
- 4) найбільш критичних помилок персоналу і відмов обладнання з ціллю їх більш детального аналізу;
- 5) домінантних відмов по загальній причині з ціллю їх більш детального моделювання за допомогою менш консервативних методів;
- 6) «залишкових» відмов по загальній причині та іншої потенціальної залежності, включаючи ті, які можуть існувати між окремими людино-машинними взаємодіями;
- 7) можливих відновлювальних дій персоналу з аналізом їх технічного виконання з врахуванням специфічних умов розвитку проєктної загрози, що розглядається.

Крок 3 – фінальна кількісна оцінка аварійних послідовностей, яка полягає в:

- 1) уточненні імовірнісної моделі та вхідних даних по результатам виконання наступного кроку;
- 2) включення в модель відновлювальних дій персоналу;
- 3) фінальному кількісному розрахунку аварійних послідовностей;
- 4) аналізі мінімально-критичних перерізів з ціллю визначення адекватності використаного при розрахунку «порогу відсікання», а також визначенню основних вкладників в сумарну частоту виникнення небажаної події.

Крок 4 – аналіз невизначеності з ціллю оцінки: невизначеності моделювання на якісному рівні, тобто невизначеності, що обумовленні неповнотою переліку проєктних загроз; неповнотою переліку аварійних послідовностей та кінцевих станів; неповнотою переліку можливих видів відмов обладнання та помилок персоналу, а також набору мінімальних критичних перерізів, врахованих при виконанні кількісних розрахунків та розкидом чисельних значень вхідних розрахункових параметрів з врахуванням неточності використаних розрахункових формул (кількісно);

Крок 5 – аналіз значимості, тобто кількісні критерії оцінки. Аналіз значимості дозволяє виконати відносну важливість окремої аварійної послідовності окремої одиниці обладнання або окремих дій персоналу.

Найбільш розповсюдженими методами оцінки значимості є:

- 1) метод Бірнбаума;
- 2) метод Фуссел-Веслі;
- 3) показник збільшення ризику;
- 4) показник зниження ризику.

Метод Бірнбаума для традиційного імовірнісного аналізу безпеки АЕС має наступний вигляд:

$$I_B(x) = \text{ЧПАЗ}(1) - \text{ЧПАЗ}(0) \quad (2.16)$$

де, ЧПАЗ (1) – це частота пошкодження активної зони реактора в припущенні гарантованої реалізації визначеного кінцевого стану аварійної послідовності;

ЧПАЗ (0) – частота пошкодження активної зони реактора в припущенні абсолютної надійності всього вище перерахованого.

Метод Фуссел-Веслі для традиційного імовірнісного аналізу безпеки АЕС має наступний вигляд:

$$I_{FV}(x) = \frac{\sum \text{МКП}_i}{\text{ЧПАЗ}} \quad (2.17)$$

де, $\sum \text{МКП}_i$ – це сумарний вклад в мінімально-критичний переріз, що має необхідний вид відмов або помилки персоналу.

В даному випадку, ЧПАЗ є реальним значенням частоти пошкодження активної зони реактора.

Показник росту ризику показує у скільки разів збільшиться частота пошкодження активної зони реактора, внаслідок відмови компонента, що аналізується.

Математично даний показник може бути виражений наступною формулою:

$$RI(x) = \frac{(CDFx=1)}{CDF} \quad (2.18)$$

Показник зниження ризику показує у скільки разів зменшиться частота пошкодження активної зони реактора, внаслідок успіху компонента, що аналізується.

Математично даний показник може бути виражений наступною формулою:

$$RR(x) = \frac{(CDFx=0)}{CDF} \quad (2.19)$$

Крок 6 – аналіз чутливості. Основна ціль аналізу чутливості – кількісно оцінити вплив на ЧПАЗ прийнятих при моделюванні допущень або спрощень. Реалізується шляхом моделювання альтернативного допущення з наступним аналізом порівняння отриманих значень ЧПАЗ. Це допомагає визначити надмірні консервативні допущення для наступного аналізу моделювання.

При виконанні аналізу чутливості переслідуються наступні цілі:

- 1) визначення впливу степені «відсікання» мінімальних перерізів на частоту пошкодження активної зони реактора;
- 2) визначення впливу кількісних характеристик проєктних загроз з великою невизначеністю на частоту пошкодження активної зони реактора;
- 3) визначення впливу розширення груп відмов по загальній причині на частоту пошкодження активної зони реактора;
- 4) визначення впливу дій персоналу на частоту пошкодження активної зони реактора.

Алгоритм проведення фізичного імовірнісного аналізу зображено на рисунку 2.10.

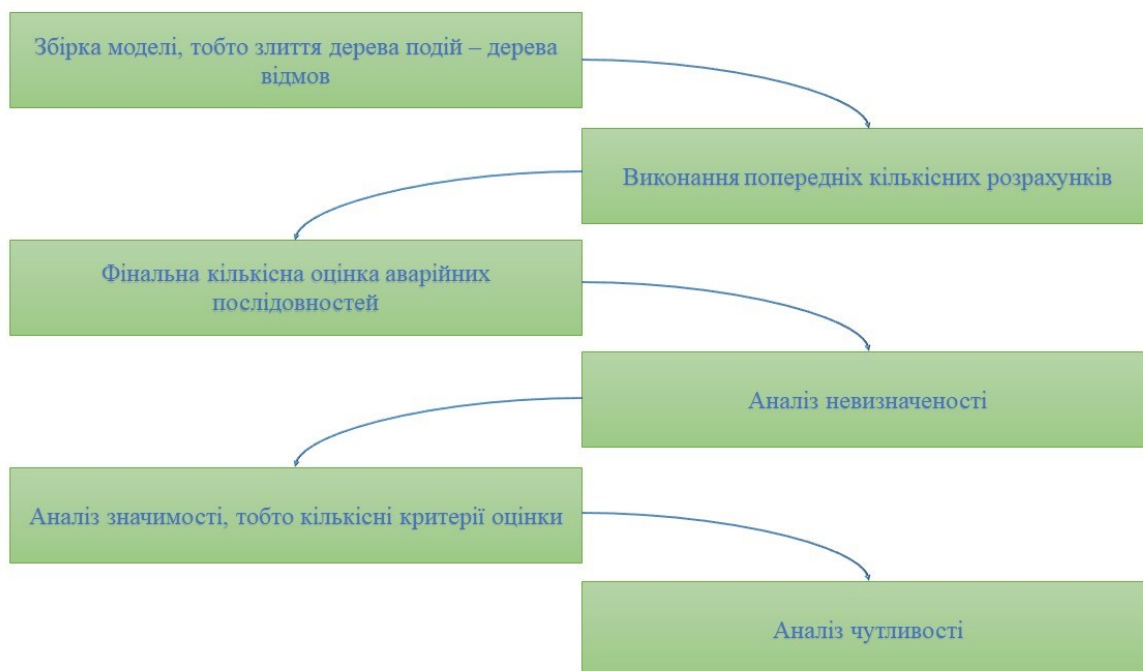


Рисунок 2.10 – Алгоритм проведення фізичного імовірнісного аналізу

Наявні наступні обмеження в розробці та використанні фізичного імовірнісного аналізу:

- 1) необхідно добре розуміти всі специфічні особливості системи фізичного захисту;
- 2) наявність невизначеності, що пов'язана з вхідними даними та моделюванням;
- 3) обмеження в об'ємі;
- 4) суб'єктивізм, що накладається розробником фізичного імовірнісного аналізу;
- 5) відмови по загальним причинам;
- 6) не ідеальність методів розрахунку рідких подій;
- 7) недостатність знань про некоректні вхідні дані.

Аналіз чутливості виконується з метою оцінки впливу на сумарну частоту пошкодження активної зони реактора, використаних при розробці імовірнісних моделей допущеннях та пропозицій.

Проведення аналізу чутливості по відношенню до конкретного аспекту, що досліджується, визначає необхідність внесення визначених змін в імовірнісну модель (значення базових подій, частота вихідних подій аварій, модифікація дерева відмов, модифікація дерева подій). Далі проводиться розрахунок нової частоти пошкодження активної зони реактора (для зміненого варіанту моделі) та порівняння отриманого результату з тим, що був раніше до внесення змін в імовірнісну модель.

В результаті, проведені розрахунки дозволять визначити:

- 1) профіль ризику системи, що досліджується в фізичному захисті (тобто визначити по відношенню до якої проєктної загрози, система фізичного захисту є найбільш вразливою);
- 2) виявити домінантні аварійні послідовності (сценарії розвитку проєктних загроз, які дають найбільший вклад в сумарну частоту пошкодження активної зони реактора при диверсії);
- 3) визначити домінантні мінімальні перерізи (тобто, визначити працездатність якого обладнання, які дії персоналу являються критичними з точки зору недопущення пошкодження активної зони реактора при диверсії).

В процесі аналізу чутливості виявляються ті «невдалі» проєктні рішення, які мають максимальний негативний вплив на фізичний захист ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання. Для конкретних проєктних загроз визначається найбільш вразливе обладнання та критичні дії персоналу. Розробляються пропозиції та рекомендації, які дозволяють підвищити рівень безпеки фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання, що досліджується (з точки зору імовірнісної моделі – знизити значення частоти негативної події).

Розглянувши та дослідивши алгоритм проведення фізичного імовірнісного аналізу та традиційного імовірнісного аналізу безпеки АЕС, зроблено висновок, що обидва алгоритми є подібними, проте підхід до їхнього виконання є різним. Якщо брати до уваги збір бази даних по надійності обладнання систем, то у фізичному

імовірнісному аналізу та традиційному імовірнісному аналізу безпеки АЕС, застосовуються аналогічні процедури та методи. У випадку збору даних по системах, наявна певна специфіка, так-як у фізичному імовірнісному аналізі необхідно брати до уваги експлуатаційні особливості інженерно-технічних засобів системи фізичного захисту, хоча методологія та процедура проведення зібрання необхідної інформації подібна.

Одним із кроків виконання, як фізичного імовірнісного аналізу, так і традиційного імовірнісного аналізу безпеки АЕС є збір бази даних по інцидентах та порушеннях. Підходи до виконання бази даних по інцидентах та порушеннях відрізняються, так, наприклад для фізичного імовірнісного аналізу дана інформація пов'язана з об'єктовими проєктними загрозами, до того ж така інформація є державною таємницею. Дивлячись на нинішній стан фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання нашої держави, перелік об'єктових проєктних загроз необхідно розширювати та покращувати нинішній стан фізичного захисту, щоб бути готовими до імовірних не врахованих небажаних подій.

Основна увага в дисертації присвячена аналізу критеріїв успіху функцій безпеки системи фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання. Визначення критеріїв успіху функцій безпеки системи фізичного захисту є подібним до проведення оцінки вразливості ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання, проте при подібності процедури виконання, фізичний імовірнісний аналіз вимагає розробки окремої методології визначення критеріїв успіху функцій безпеки системи фізичного захисту та критеріїв прийнятності, які ставлять у відповідність критеріям успіху для підтвердження того, що вони були дотримані. Окремим питанням також є методологія оцінки порушення критеріїв прийнятності.

В традиційному імовірнісному аналізі безпеки АЕС, одним із кроків його виконання є ідентифікація та групування вихідних подій аварії, в фізичному імовірнісному аналізі даний крок відповідає ідентифікації та групуванню вихідних

подій проєктних загроз. Хоч і в обох випадках використовують схожі процедури та методи, у фізичному імовірнісному аналізі наявна специфіка, наприклад така, що пов'язана з появою зовнішніх і/або внутрішніх правопорушників.

У фізичному імовірнісному аналізі відсутня як така оцінка частоти реалізації проєктних загроз, тоді як у традиційному імовірнісному аналізі безпеки АЕС, оцінка частоти вихідних подій аварій є важливим етапом його проведення. Тому у фізичному імовірнісному аналізі необхідно розробити нову унікальну методологію для оцінки частоти реалізації проєктних загроз.

Формування дерева подій та дерева відмов при виконанні, що традиційного імовірнісного аналізу безпеки АЕС, фізичного імовірнісного аналізу є одним із ключових етапів для отримання оцінки появи події та визначення основних «вкладників» в імовірність появи цієї події.

При аналізі надійності персоналу у фізичному імовірнісному аналізі, необхідно звернути увагу, що як і у традиційному імовірнісному аналізі безпеки АЕС, підбір персоналу відбувається з дотриманням відповідних критеріїв, наприклад, наявності кваліфікаційних складових, проходження попередньої перевірки персоналу перед допуском до роботи і т.п.

При проведенні аналізу чутливості, аналізу значимості та невизначеності, що в традиційному імовірнісному аналізі безпеки АЕС, що й у фізичному імовірнісному аналізі, використовують аналогічну методологію та процедуру проведення.

Наведена характеристика проведення фізичного імовірнісного аналізу є узагальненою та не відповідає всій «картині» проведення ФІА та вона виконана для загального уявлення та розуміння проведення фізичного імовірнісного аналізу з використанням та залученням вже добре вивченого та перевіреного часом традиційного імовірнісного аналізу безпеки АЕС.

Слід зазначити, щоб повноцінно сформувати методи, процедури, алгоритми проведення фізичного імовірнісного аналізу, необхідно залучити значні матеріальні, людські та часові ресурси та відповідно це потребує залучення висококваліфікованого персоналу у сфері фізичного захисту ядерних установок,

ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання та у сфері проведення імовірнісного аналізу безпеки АЕС.

Як результат, на виході ми отримаємо новий інструмент імовірнісного аналізу фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання, який дозволить кількісно оцінити стан фізичного захисту ядерних установок, визначити найбільш важливі фактори, що впливають на стан фізичного захисту ядерних установок, отримати інформацію, що необхідна для підвищення рівня поточного стану фізичного захисту ядерних установок.

2.13 Висновки до другого розділу

1) Наведено основні особливості проведення та загальна характеристика традиційного імовірнісного аналізу безпеки АЕС.

2) Проведено аналіз проблематики залучення традиційного імовірнісного аналізу безпеки АЕС для фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання, наведено основні відмінності між ФІА та традиційним ІАБ АЕС, наведено стислу характеристику ФІА та алгоритм його виконання.

3) На основі дослідження алгоритмів проведення ФІА та традиційного ІАБ АЕС визначено відмінності у підходах, процедурах та методах до розробки імовірнісної моделі з наведенням характеристики етапів залучення апробованого інструменту для імовірнісного аналізу фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання.

РОЗДІЛ 3 ПРОЦЕДУРА ТА МЕТОДОЛОГІЯ ВИЗНАЧЕННЯ КРИТЕРІЇВ УСПІХУ ФУНКЦІЙ БЕЗПЕКИ СИСТЕМИ ФІЗИЧНОГО ЗАХИСТУ ДЛЯ ІМОВІРНІСНОГО АНАЛІЗУ ФІЗИЧНОГО ЗАХИСТУ ЯДЕРНИХ УСТАНОВОК

3.1 Процес формування проєктних загроз у ФІА

Одним із ключових аспектів виконання традиційного імовірнісного аналізу безпеки АЕС та фізичного імовірнісного аналізу є аналіз критеріїв успіху відповідних функцій безпеки систем та їх складових елементів. В силу специфіки фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання, безпосередньо застосувати методологію та процедуру визначення критеріїв успіху функцій безпеки традиційного ІАБ АЕС для фізичного захисту ядерних установок не є можливо.

Під терміном «специфіка фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання» мається на увазі появу таких складових, наприклад, як:

- 1) зовнішні та внутрішні правопорушники, які можуть діяти окремо чи у змові;
- 2) диверсія;
- 3) саботаж;
- 4) особливості роботи системи фізичного захисту та її складових компонентів;
- 5) особливості функціонування технічних засобів, що входять до складу системи фізичного захисту, таких як певні датчики, камери спостереження, інші специфічні елементи системи контролю управління доступом і т.п.;
- 6) часова динаміка, що пов'язана з впливом часу на здатність системи фізичного захисту виявити та відповідно відреагувати (нейтралізувати) загрозу, прикладом цього є час, який необхідний правопорушнику для здійснення

протиправних дій та час, який необхідний групі швидкого реагування, щоб припинити злочинні дії правопорушника.

Основною метою проведення аналізу критеріїв успіху функцій безпеки системи фізичного захисту, у випадку фізичного імовірнісного аналізу для кожної об'єктової проєктної загрози (вихідної події аварії) є визначення вимог до мінімальної конфігурації системи фізичного захисту та розрахункового часу дій групи швидкого реагування, виконання яких дозволить системі фізичного захисту виконати відповідні функції безпеки на основі виконання критеріїв успіху.

Під терміном «проєктна загроза» мається на увазі властивості та характеристики потенційних правопорушників, дії яких можуть бути спрямовані на вчинення диверсії, крадіжки або будь-яке інше неправомірне вилучення радіоактивних матеріалів, для протидії яким створюється система фізичного захисту [2].

Визначення переліку вихідних подій проєктних загроз є одним із перших кроків, які необхідні для виконання фізичного імовірнісного аналізу.

Відомо, що перелік проєктних загроз на АЕС класифікується як інформація з обмеженим доступом, що віднесена до державної таємниці. Це пояснюється тим, що така інформація містить в собі оцінку наявних загроз, включаючи можливі сценарії дій правопорушника, рівень фізичного захисту ядерних установок, вразливості в системі фізичного захисту, заходи протидії намірам правопорушників і т.п.

Тому, вразі оприлюднення такої інформації про проєктні загрози, це сприятиме підвищенню ризику реалізації неправомірних дій правопорушників по відношенню до ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання.

Таким чином, для дотримання державної таємниці і можливості виконання досліджень у сфері фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання використовують гіпотетичні ядерні енергетичні установки.

Наприклад, для гіпотетичної ядерної установки «Поліська АЕС», при розробленні об'єктової проєктної загрози передбачалось наявність на АЕС потенційних внутрішніх правопорушників, як персоналу АЕС, так і серед особового складу підрозділів з охорони та зовнішніх правопорушників з метою незаконного заволодіння ядерних матеріалів та радіоактивних відходів для створення ядерного вибухового пристрою чи «брудної бомби» [13], а для гіпотетичної ядерної установки «SNRI» розглядаються наступні проєктні загрози [31]:

- 1) один активний внутрішній правопорушник, що таємно здійснює раптове несанкціоноване вилучення ядерних матеріалів;
- 2) один активний внутрішній правопорушник, що таємно здійснює несанкціоноване вилучення ядерних матеріалів протягом тривалого часу;
- 3) один активний внутрішній правопорушник, що здійснює акт диверсії, який призводить до небажаних радіологічних наслідків.

3.2 Процедура встановлення та аналізу критеріїв успіху ФБ СФЗ

Відповідно, для кожної проєктної загрози визначається мінімальний набір вимог до системи фізичного захисту, що необхідні для виконання системою фізичного захисту функцій безпеки, та як наслідок, для запобігання виникненню небажаних подій. Для кожної функції безпеки визначаються критерії успіху для системи фізичного захисту (первинні критерії успіху) та критерії успіху для обладнання та систем забезпечення (вторинні критерії успіху) [31].

Критерії успіху розробляються для кожної функції безпеки системи фізичного захисту, їм у відповідність ставлять критерії прийнятності, що засвідчують виконання критеріїв успіху та відповідно і функцій безпеки СФЗ.

З огляду на фізичний захист ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання, під терміном «функції безпеки» розуміють будь-яку технологічну функцію системи фізичного захисту, яка запобігає реалізації сценаріям правопорушників [31].

Якщо адаптувати визначення «критеріїв успіху» традиційного імовірнісного аналізу безпеки АЕС для оцінки фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання, то критерії успіху – це мінімальний набір вимог до системи фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання та її складових елементів, що визначають умови успішного виконання функцій безпеки системи фізичного захисту з врахуванням специфічних умов, що накладаються в кожному конкретному випадку здійснення проєктної загрози.

Для фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання, під первинними критеріями успіху вважають мінімальний набір вимог по відношенню до системи фізичного захисту, як в цілому, так і з точки зору виконання нею необхідних функцій безпеки.

Вторинні критерії успіху визначають набір вимог по відношенню до відповідної системи забезпечення з точки зору підтримання нею необхідних мінімальних умов для надійної роботи системи фізичного захисту.

Для адаптації терміну «критерії прийнятності» для фізичного імовірнісного аналізу, пропонується наступне визначення – це межа, що сформульована в чисельному вигляді, яка визначає виконання критеріїв успіху функцій безпеки системи фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання.

Як вже говорилося, одним із перших кроків виконання фізичного імовірнісного аналізу є визначення переліку проєктних загроз, на основі чого визначаються потенційні цілі правопорушників, тобто вразливі об'єкти, по відношенню до яких може бути здійснена неправомірною діяльністю. Для фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання основними цілями потенційного правопорушника є [32]:

- 1) Реакторна установка (ядерна енергетична установка) – у зв'язку з наявністю великої кількості збагаченого урану (ядерного матеріалу), існує

імовірність неправомірного або протиправного заволодіння ним з метою створення ядерного заряду, при цьому слід зазначити, що кількість ядерного матеріалу низького збагачення вразі більша, що несе за собою можливість створення великої кількості так званих «брудних бомб». Проте через занадто великі дозовані навантаження реакторної установки, імовірність того, що подія з неправомірним вилученням ядерних та радіоактивних матеріалів відбудеться є дуже низька.

2) Сховище відпрацьованого ядерного палива – враховуючи те, що ЯМ в даному випадку є вже використаними, у сховищі наявна велика кількість напрацьованого збройного плутонію та подільного урану, що не був використаний в процесі експлуатації. Згідно досліджень, кількість такого невідпрацьованого палива доволі суттєва і може досягати показника 20 – 30 %. Тому, в даному випадку, мотиви правопорушника можуть бути пов'язані з неправомірним вилученням ядерного чи радіоактивного матеріалу для створення ядерного вибухового пристрою чи «брудної бомби».

Слід вказати, що як і в попередньому випадку, наявність великого дозованого навантаження, створює ефект «самозахищеності» та мінімізує імовірність незаконного вилучення ядерних та радіоактивних матеріалів, до того ж, відпрацьоване ядерне паливо та інші побічні продукти поділу знаходяться в межах гермооб'єму, до якого не має доступу під час роботи енергоблоку на потужності.

3) При виконанні технологічних операцій у системах перевантаження, тимчасового зберігання та транспортування ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання існує можливість неправомірного вилучення збагаченого ядерного палива чи відпрацьованого ядерного палива для створення ядерного вибухового пристрою або «брудної бомби». В даному випадку, імовірність незаконного заволодіння джерелами іонізуючого випромінювання зростає, так як знижується ефект «самозахищеності».

4) Сховище радіоактивних відходів – в даному випадку, імовірність вилучення радіоактивних відходів є доволі значним, в сховищі наявна велика кількість «забруднених матеріалів», що несе за собою імовірність крадіжки радіоактивних відходів для створення «брудної бомби».

Рівень фізичного захисту напряду залежить від їх класифікації по категоріям з точки зору можливості їх використання в цілях створення ядерного вибухового пристрою чи «брудної бомби» [32].

Тобто, для кожної категорії ядерного чи радіоактивного матеріалу визначаються вимоги по їх захисту від несанкціонованого вилучення, де одним із основних критеріїв цих вимог є те, що необхідно врахувати вимоги для захисту при диверсії [33].

Основним фактором, що впливає на визначення заходів фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів від несанкціонованого вилучення є сам ядерний матеріал. В таблиці 3.1 наведено різновид ядерних та радіоактивних матеріалів, що поділені на відповідні категорії із зазначенням елементу, ізотопу, їх кількості та ступеню опромінення [34, 35].

Таблиця 3.1 – Класифікація ядерного матеріалу

Матеріал	Форма	Категорії		
		I	II	III_c
1	2	3	4	5
Плутоній_a	Неопромінений_b	Понад 2 кг;	Менше 2 кг, але більше 500 г;	Менше 500 г, але більше 15 г;
Уран-235	Неопромінений_b:	Понад 5 кг;	Менше 5 кг, але більше 1кг; Понад 10 кг;	Менше 1 кг, але більше 15 г;
	уран, збагачений ізотопом уран-235 від 20 % або більше;			Менше 10 кг, але більше 1 кг;
	уран, збагачений ізотопом уран-235 від 10 % до 20 %;			Понад 10 кг;
	урна зі збагаченням вище природного, але з вмістом ізотопу уран-235 менше 10 %.			

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5
Уран-235	Неопромінений_b	Понад 2 кг;	Менше 2 кг, але більше 500 г;	Менше 500 г, але більше 15 г;
Опромінене паливо			Збіднений або природний уран, торій або слабо-збагачене паливо (з вмістом ізотопів, що діляться, менше 10 %)_d_e.	

a – весь плутоній, за винятком плутонію, ізотопна концентрація якого перевищує 80% по плутонію-238.

b – Матеріал, не опромінений в реакторі, або матеріал, опромінений в реакторі, але з рівнем опромінення, який дорівнює або менше 100 рад/год на відстані одного метра без захисту.

c – кількість, яка не підпадає під категорію III, і природний уран належить захищати, виходячи з міркувань практичної доцільності.

d – хоча рекомендується даний рівень захисту, держави можуть, виходячи з оцінки конкретних обставин, визначити іншу категорію фізичного захисту.

e – інше паливо, яке до опромінення входило, залежно від первісного стану матеріалу, що ділиться на категорії I або II, може бути знижено за рівнем не більше ніж на одну категорію, якщо рівень випромінення палива перевищує 100 рад/год на відстані одного метра без захисту.

Відповідно в залежності від категорії ядерного матеріалу, змінюється рівень фізичного захисту відповідно до Законів, вимог та рекомендацій, проте з плином часу їх актуальність змінюється, адже з'являються нові можливості обійти систему фізичного захисту для злочинних цілей по відношенню до ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання. Для того, щоб розуміти, що система фізичного захисту здатна

протидіяти наявним загрозам, для неї встановлюються відповідні вимоги (функції), які повинні бути виконані.

Система фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання повинна забезпечити [36]:

1) запобігання – функція системи фізичного захисту, що полягає у запобіганні здійсненню незаконних дій потенційними правопорушниками щодо ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання [36]. Дана функція має на меті не допустити виникнення або реалізації потенційної загрози, її основними завданнями є обмеження доступу до ядерної установки або джерел іонізуючого випромінювання, захист відповідних потенційно «критичних» зон шляхом використання фізичних бар'єрів, встановлення режимних заходів, відповідно до вимог (наприклад, контроль ідентифікації, перевірка доступу до відповідних зон і т.п.). Дана функція реалізується за рахунок системи контролю доступу, фізичних бар'єрів (огорож, замків, дверей, турнікетів і т.п.), політики дотримання безпеки (правила, процедури, інструкції, культура безпеки).

2) виявлення – функція системи фізичного захисту, що полягає в встановленні факту несанкціонованого проникнення в зону обмеженого доступу та виявленні інших протиправних дій щодо ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання [36]. Дана функція має на меті своєчасно ідентифікувати потенційну загрозу або порушення режиму фізичного захисту та несе за собою такі завдання, як моніторинг ядерної установки, джерел іонізуючого випромінювання та прилеглої території, виявленні несанкціонованих дій (наприклад, саботаж, проникнення, крадіжка і т.п.). Реалізація цієї функції відбувається на рахунок систем охоронної сигналізації (звукова сигналізація, датчики руху, датчики контролю положення дверей, вікон, датчики вібрації і т.п.), системи відеоспостереження (аналітичні системи розпізнавання обличчя, сітківки ока і т.п.), інфрачервоних та тепловізійних датчиків.

3) затримка – функція системи фізичного захисту, що полягає у сповільненні дій правопорушника при виконанні ним своєї задачі [36]. Мета цієї функції уповільнити дії потенційного правопорушника та забезпечити відповідний час на реагування. Основними завданнями є створення фізичних бар'єрів, які ускладнюють проникнення або реалізацію потенційної загрози з обов'язковим використанням засобів блокування. Реалізація відбувається за рахунок захисних дверей, шлюзів, антивандальних конструкцій, захисних елементів (наприклад, болардів, колючого дроту, загороджень) з використанням систем автоматичного блокування.

4) реагування – функція системи фізичного захисту, що полягає в недопущенні силами реагування виконання правопорушником своєї задачі [36]. Метою є організувати дії з нейтралізації потенційної загрози або мінімізувати негативні наслідки. Основними завданнями є активізація груп швидкого реагування, інформування відповідних осіб та служб про інцидент та оцінка загрози та прийняття рішень в реальному часі. Основними засобами реалізації є система тривожного оповіщення, центри моніторингу та управління, використання автоматизованих систем (дистанційне блокування, запуск відповідних аварійних систем і т.п.).

5) переривання – функція системи фізичного захисту, що полягає у своєчасному перериванні силами реагування дій правопорушників до виконання ним своїх цілей [36]. Метою є зупинити дії правопорушника та ліквідувати загрозу. Основними завданнями є фізична або технологічна нейтралізація загрози, застосування відповідних засобів зупинки (летальних чи нелетальних, відповідно до утвореної ситуації). Засобами реалізації є робота груп реагування (відповідні служби охорони, Національна гвардія, Національна поліція і т.п.), використання засобів зупинки (наприклад, електрошокери, сльозогінні гази, димові завіси, інші летальні та нелетальні засоби), застосування технічних засобів (блокування відповідних зон, за наявності активація пасток). Важливим етапом після переривання є відновлення нормального стану системи фізичного захисту після інциденту шляхом аналізу причин та його наслідків, усунення наслідків загрози

(відновлення системи фізичного захисту до відповідного необхідного рівня). Реалізують це за рахунок плану аварійного реагування, модернізації, модифікації і оновлення обладнання та проведенню навчань з аналізом результатів.

Це є функції системи фізичного захисту, які відповідають функціям безпеки системи фізичного захисту. Дані функції безпеки системи фізичного є основними та безпосередньо встановлюються до системи фізичного захисту. Функції безпеки системи фізичного захисту працюють у комплексі, формуючи багаторівневу систему захисту. Функція безпеки «виявлення» активує функцію «реагування», а функція «затримка» надає час для її реалізації, функція «запобігання» мінімізує ризики появи небажаної події, але у разі порушення включаються функції «виявлення» та «переривання». Відповідне комплексне виконання функцій безпеки системи фізичного захисту є запорукою ефективності СФЗ.

Для проєктних загроз, пов'язаних з інформаційною та кібернетичною безпекою, можуть розглядатися додаткові функції безпеки, пов'язані зі забезпеченням цілісності, доступності та конфіденційності інформації.

Для виконання основних функцій безпеки визначаються та встановлюються відповідні критерії успіху.

В загальному, у системі фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання можна запропонувати наступні критерії успіху, що визначаються цілями фізичного захисту:

- 1) переривання диверсії спрямованої на важке пошкодження активної зони реактора;
- 2) переривання диверсії спрямованої на створення надграничного аварійного викиду у навколишнє середовище;
- 3) переривання системою фізичного захисту вилучення ядерних матеріалів;
- 4) переривання системою фізичного захисту вилучення радіоактивних матеріалів.

Відповідно цілями фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання є [2]:

- 1) створення умов, спрямованих на мінімізацію можливості вчинення диверсії, крадіжки або будь-якого іншого неправомірного вилучення радіоактивних матеріалів та зміцнення режиму нерозповсюдження ядерної зброї;
- 2) сприяння здійсненню заходів з розшуку та повернення зниклих ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання та зведення до мінімуму радіологічних наслідків диверсії.

Якщо встановлювати критерії успіху для безпосередньо визначених функцій безпеки системи фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання, то вони матимуть наступний вигляд:

1) ФБ 1 – запобігання – в даному випадку критерій успіху встановлюється для кожної системи фізичного захисту індивідуально, але узагальнено він полягає у: створенні враження постійного контролю у правопорушників за ядерними установками, ядерними матеріалами, радіоактивними відходами, іншими джерелами іонізуючого випромінювання; здатністю системи фізичного захисту цілеспрямовано чи нецілеспрямовано (випадково) виявити та нейтралізувати підготовку до неправомірних дій по відношенню до ядерних установок та джерел іонізуючого випромінювання; стійкості та не порушенні хоча б одного з бар'єрів на шляху правопорушника. Дана ФБ може бути змодельована в дереві подій у явному вигляді, і тоді для неї необхідно визначити критерії успіху та відповідні критерії прийнятності, або врахована в неявному вигляді при розрахунку частоти виникнення вихідної події проєктної загрози.

2) ФБ 2 – виявлення – для даного випадку, критерій успіху полягає у спрацюванні хоча б одного засобу виявлення, що дозволить констатувати факт появи небезпеки (виявлення факту правопорушення). В даному випадку, своєчасне та якісне сповіщення буде відноситись до даної ФБ.

3) ФБ 3 – затримка – критерієм успіху є створення перешкод на шляху правопорушника для сповільнення його дій та подальшого просування. Тобто, це

мінімальна кількість бар'єрів захисту та мінімально-необхідні дії персоналу для уповільнення та ускладнення дій правопорушника, щоб створити «подушку часу» для сил реагування та початку роботи автоматизованих систем.

4) ФБ 4 – реагування – критерій успіху є своєчасне розгортання групи реагування з максимально можливою обізнаністю про утворену ситуацію. В даному випадку розуміється забезпечення динамічної безпеки, що забезпечується мінімально-необхідною якісною підготовкою, координацією та технологічною підтримкою персоналу та відповідно необхідного обладнання для реагування.

5) ФБ 5 – переривання – критерій успіху полягає у припиненні зловмисних дій правопорушника до того, як він досягне своєї мінімальної мети. Тобто це здатність системи фізичного захисту та оперативного персоналу зупинити дії правопорушника або нейтралізувати загрозу після її ідентифікації.

Вищезазначені критерії успіху відносяться до первинних, їх мінімальний набір з огляду на систему фізичного захисту формує умову виконання функцій безпеки СФЗ.

Для визначення вторинних критеріїв успіху функцій безпеки системи фізичного захисту, необхідно визначити склад системи фізичного захисту, описати сукупність елементів, що забезпечують захист ядерних установок, джерел іонізуючого випромінювання та територій від несанкціонованого доступу, саботажу, крадіжок чи інших потенційних загроз.

До складу системи фізичного захисту входять технічні засоби, організаційні заходи та персонал.

Основними складовими системи фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання є:

1. інженерно-технічні засоби фізичного захисту. Ці засоби забезпечують фізичний бар'єр для перешкоджання несанкціонованого доступу або уповільнення дій правопорушника:

1) огороження периметра: забори, стіни, бар'єри, захисні сітки колючий дріт та інші загороджувальні конструкції;

- 2) контрольно-пропускні пункти з автоматизованими турнікетами та засобами ідентифікації (карти доступу, біометричні пристрої ідентифікації);
- 3) фізичні бар'єри: антивандальні двері, куленепробивне скло, блокатори доріг (боларди, шипи, блокувальні плити);
- 4) засоби затримки: шлюзові двері, замки з багаторівневим контролем, системи автоматичного блокування.

2. Системи виявлення та оповіщення, що забезпечують своєчасне виявлення загрози та оповіщають про наявність загрози:

- 1) система охоронної сигналізації: датчики руху, вібрації, звуку, інфрачервоні, магнітні та ультразвукові сенсори;
- 2) відеоспостереження: звичайні камери, камери нічного бачення, термокамери, системи відеоаналітики (розпізнавання обличчя, об'єктів);
- 3) система контролю управління доступом: карткові зчитувачі, біометричні сканери (відбитки пальців, райдужна оболонка ока, сітківка ока і т.п.), електронні замки з віддаленим управлінням, турнікети;
- 4) система аварійного оповіщення: звукові та світлові сигналізатори, аварійне оповіщення персоналу та групи реагування.

3. Засоби затримання та нейтралізації правопорушників: елементи для затримання правопорушників або нейтралізації загрози: звичайні огорожі, електрошочкові огорожі, системи димової завіси або сльозогінні гази, засоби летальної або не летальної дії для нейтралізації правопорушників, засоби автоматичного блокування входу/виходу.

4. Організаційно-адміністративні заходи, що забезпечують управління системою фізичного захисту:

- 1) розробка політики безпеки: регламентація процедур доступу, реагування на інциденти;
- 2) режимні заходи: встановлення правил входу/виходу, заборона внесення/винесення та користування відповідними пристроями та засобами на об'єкті;

3) контроль виконання процедур: перевірка співробітників та відвідувачів;

4) навчання персоналу: тренування працівників та груп швидкого реагування, інструктажі дій працівників та груп швидкого реагування вразі загрози чи інциденту.

5. Персонал системи фізичного захисту, а саме персонал, який безпосередньо забезпечує функціонування системи:

1) охоронний персонал: патрулювання території, моніторинг систем відеоспостереження, проведення обшуків, перевірка документів;

2) групи швидкого реагування: реагування на тривоги або інциденти;

3) координаційний центр: оператори, які контролюють роботу системи фізичного захисту та здійснюють комунікацію з реагуючими службами.

6. Інформаційні та аналітичні системи, які забезпечують обробку даних та автоматизацію роботи системи фізичного захисту:

1) системи управління безпекою: центральний пульти управління, інтегровані системи моніторингу та аналізу загроз;

2) аналітичні програми: прогнозування загроз, обробка записів відеоспостереження;

3) зберігання даних: архіви відеозаписів, логи доступу.

7. Системи реагування для організація заходів нейтралізації загроз:

1) виклик груп швидкого реагування;

2) автоматизація запуску систем блокування;

3) налагоджений зв'язок з місцевими службами (поліція, пожежна служба, медици).

8. Резервні системи та елементи, які забезпечують безперервність роботи системи фізичного захисту:

1) резервні джерела живлення (генератори, акумулятори);

2) дублюючі системи зв'язку та сповіщення;

3) запасні маршрути евакуації та аварійні виходи.

9. Міжсистемна інтеграція, яка забезпечує взаємодію між різними елементами системи фізичного захисту:

- 1) інтеграція систем виявлення, затримки, реагування в єдиний комплекс;
- 2) зв'язок із системами пожежної безпеки, клімат-контролю тощо.

10. Оцінка та тестування ефективності системи фізичного захисту:

- 1) регулярне тестування системи фізичного захисту на стійкість до загроз;
- 2) проведення навчань, симуляцій загроз;
- 3) аудит роботи системи фізичного захисту та оновлення компонентів.

Слід зазначити, що це є орієнтовний перелік систем та елементів системи фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання, адже в залежності від категорії ядерних та радіоактивних матеріалів рівень фізичного захисту та склад системи фізичного захисту змінюється. Тому для визначення вторинних критеріїв успіху функцій безпеки системи фізичного захисту необхідний індивідуальний підхід для кожної СФЗ.

Якщо брати до уваги інженерно-технічні засоби фізичного захисту, то вони призначені для підтримання таких функцій безпеки, як запобігання, затримки, переривання. Критеріями успіху функцій безпеки в даному випадку буде мінімальний набір систем та елементів ІТЗ СФЗ, спрацювання яких дозволить не допустити появи загрози, інциденту або перервати незаконні дії по відношенню до ядерної установки, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання. Наприклад, огороження периметру та КПП безпосередньо створюють психологічний ефект на правопорушників щодо фізичного захисту, запобігають несанкціонованому доступу на об'єкт, що охороняється, вразі виявлення неправомірного доступу, затримують правопорушника. Фізичні бар'єри та засоби затримки дозволяють затримати правопорушника, чим самим виграти час, який необхідний для розгортання групи швидкого реагування або взагалі призвести до переривання незаконних дій.

Системи виявлення та сповіщення виконують такі функції безпеки, як виявлення та затримки. Мінімальний набір спрацювання систем охоронної

сигналізації, відеоспостереження, аварійного оповіщення дозволяють забезпечити виконання вищезазначених функцій безпеки та перейти до функцій безпеки – реагування. Слід вказати, що необхідно, щоб хоч одна з систем та елементів системи виявлення спрацювала, щоб почати реагування – це і є критерій успіху функцій безпеки систем виявлення та оповіщення.

Засоби затримання та нейтралізації виконують функції безпеки затримання та переривання, критерієм успіху в даному випадку буде спрацювання хоча б одного з елементів, який дозволить припинити дії правопорушників чи усунути загрозу з подальшим переходом до відновлювальних дій системи фізичного захисту.

Організаційно-адміністративні заходи охоплюють всі п'ять функцій безпеки, адже від даних заходів залежить коректність роботи системи фізичного захисту. Критерієм успіху в даному випадку вважатиметься індивідуально визначена кількість відмов систем, елементів та помилок персоналу системи фізичного захисту, що не призведе до відмови СФЗ та дозволить перервати загрозу з подальшими відновлювальними діями СФЗ.

Важливим аспектом в роботі системи фізичного захисту є людський ресурс, так як помилки персоналу мають безпосередній вплив на надійність роботи системи фізичного захисту, зокрема важливим моментом є виконання функцій безпеки реагування та переривання. Критерієм успіху в даному випадку є мінімальний набір дій персоналу та групи швидкого реагування для реагування та переривання загрози.

Інформаційні та аналітичні системи зменшують імовірність помилок персоналу та відповідають для підтримання таких функцій безпеки, як запобігання, виявлення та частково затримка. Критерієм успіху функцій безпеки є критична кількість відмов, яка дозволить попередити, виявити та перервати загрозу.

Системи реагування відповідають за функцію безпеки – реагування. Критерієм успіху є мінімальні дії персоналу, сил реагування та роботи автоматики для переривання загрози.

Резервні системи є важливим аспектом в роботі системи фізичного захисту, які виконують такі функції безпеки як запобігання, виявлення, затримка, реагування, переривання. Критерієм успіху в даному випадку буде мінімальний набір резервних систем та елементів, які підтримуватимуть надійну роботу СФЗ.

3.3 Методологія та алгоритм визначення КУ ФБ СФЗ

Методологія визначення критеріїв успіху функцій безпеки системи фізичного захисту та алгоритм її проведення полягає в структурованому підході в кілька етапів формування показників ефективності функцій безпеки системи фізичного захисту.

Пропонується наступна методологія та алгоритм визначення критеріїв успіху функцій безпеки СФЗ:

1. Формування переліку вимог та завдань до системи фізичного захисту, що розглядається.

Дана процедура полягає у першочерговому визначенні цілей системи фізичного захисту, зокрема у формуванні загальної мети системи фізичного захисту, тобто запобіганні та виявленні потенційних загроз.

Слід зазначити, що в даному випадку необхідно звертати увагу на специфіку об'єкту по відношенню до якого створюється/створена система фізичного захисту.

2. Проведення аналізу загроз та ризиків по відношенню до об'єкту, де застосовується система фізичного захисту.

Для цього необхідно ідентифікувати потенційні загрози та мету правопорушників. В даному випадку визначаються об'єктові проєктні загрози, які можуть бути пов'язані з проникненням, диверсією, саботажем, крадіжкою джерел іонізуючого випромінювання, що здійснюються зовнішніми і/або внутрішніми правопорушниками.

Наступним кроком буде проведення оцінки ризиків, яка полягатиме в оцінці імовірності реалізації загрози та потенційній оцінці наслідків до яких може призвести ця загроза. На даному етапі можна використати «Порядок проведення

оцінки вразливості ядерних установок та ядерних матеріалів» [11], але слід зауважити, що процедура в обох випадках проведення оцінок схожа, проте наявні деякі важливі відмінності, які необхідно враховувати при виконанні даного кроку.

Так, оцінка ризиків та оцінка вразливості ядерних установок та ядерних матеріалів є взаємопов'язаними, але мають різні підходи до аналізу системи фізичного захисту, різні цілі, методологію та акцентують увагу на різних аспектах безпеки.

Оцінка ризиків фокусується на загальній картині безпеки з врахуванням функцій безпеки системи фізичного захисту та полягає в визначенні потенційних загроз та їх сценаріїв протікання, виявленні слабких місць системи фізичного захисту та аналізі можливих збитків в разі реалізації загрози. Основною метою її проведення є визначення рівня ризику для системи фізичного захисту та пріоритету заходів для його зниження.

Сам процес проведення оцінки ризику полягає в аналізі можливих сценаріїв загроз з подальшою оцінкою імовірності їх реалізації та розрахунком ризику як комбінацій імовірності та подальших наслідків.

Результатом проведення такої оцінки є список ризиків розташованих в пріоритетному порядку, що дозволяє адекватно розподілити та направити всі наявні ресурси на найбільш критичні та вразливі аспекти фізичного захисту.

В свою чергу, оцінка вразливості зосереджена на технічних, організаційних і фізичних слабких місцях системи фізичного захисту. Це детальний аналіз, що виявляє слабкі місця системи, де вона може бути порушена.

Процес проведення оцінки вразливості полягає в перевірці фізичних бар'єрів захисту (стін, дверей, огорожень, блокаторів доріг тощо), оцінці ефективності технічних засобів (камер, датчиків, систем контролю управління доступом), аналізі процедур та політики безпеки (наприклад, доступ до об'єкта чи реакція на інциденти), перевірці (тестуванні) системи фізичного захисту на стійкість до визначених проєктних загроз.

Результатом проведення оцінки вразливості системи фізичного захисту є конкретний перелік слабких та критичних місць системи фізичного захисту із рекомендаціями для їх усунення.

Основні відмінності між оцінкою ризиків та оцінкою вразливості системи фізичного захисту наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Основні відмінності між проведенням оцінки ризиків та оцінки вразливості системи фізичного захисту

Критерій	Оцінка ризиків	Оцінка вразливості
Для чого	Аналіз загроз, наслідків та імовірностей.	Детальний аналіз слабких місць системи.
Мета	Визначення та пріоритизація ризиків і заходів.	Усунення конкретних вразливостей, зокрема технічних та організаційних.
Компоненти	Загрози, вразливості, наслідки.	Технічні, фізичні та організаційні аспекти.
Результат	Рівень ризику для кожного сценарію.	Конкретний список слабких місць, можливість оперативного покращення існуючих систем фізичного захисту.

Оцінка вразливостей є частиною оцінки ризиків. Наприклад, виявлення слабких місць дозволяє точніше оцінити імовірність реалізації певних загроз, що впливає на рівень ризику. Оцінка ризиків, у свою чергу, задає загальний контекст і пріоритетність дій для усунення вразливостей.

3. Визначення та формування ключових функцій безпеки системи фізичного захисту та опис очікуваного результату від кожної функції безпеки. Всі функції безпеки повинні працювати у взаємозв'язку та забезпечувати комплексний захист, адже ефективність СФЗ залежить від правильного балансування цих функцій та їх інтеграції у єдину систему.

4. Формування критеріїв успіху функцій безпеки системи фізичного захисту з дотриманням таких вимог, як відповідність: реальним технічним та людським можливостям їх реалізації, конкретним цілям системи фізичного захисту з відображенням ефективності функцій безпеки та можливістю оцінки на певному часовому проміжку (тобто показники повинні бути обмежені в часі).

5. Формування та встановлення критеріїв прийнятності для критеріїв успіху функцій безпеки системи фізичного захисту. Критерії прийнятності повинні мати оціночний характер, тобто виражатися в певних числових величинах. Більш детальний розгляд процесу формування та встановлення критеріїв прийнятності для критеріїв успіху функцій безпеки системи фізичного захисту наведено в розділі 4.

6. Розробка сценарію загроз, зокрема їх моделювання. Визначаються можливі сценарії загроз та інцидентів (наприклад, проникнення, диверсія, крадіжка), розробляються сценарії поведінки системи фізичного захисту з врахуванням: виконання/невиконання критеріїв успіху функцій безпеки СФЗ, фізичних бар'єрів, системи реагування у разі виявлення загрози та наступної перевірки в реальних умовах (моделювання сценарію загрози та аналіз слабких місць СФЗ або проведення тренувань).

7. Оцінка ефективності системи фізичного захисту, яка полягає у:

1) зборі даних – аналіз результатів роботи системи фізичного захисту (інциденти, хибні спрацювання, швидкість реагування);

2) визначенні критичних (слабких) місць в системі фізичного захисту – визначенні функцій безпеки СФЗ, які не відповідають критеріям успіху та критеріям прийнятності, тобто аналіз СФЗ щодо виконання нею функцій безпеки;

3) аналізі причин відмов чи помилок персоналу, через технічні недоліки, людський фактор, зовнішні умови, що дозволить визначити, які системи та елементи СФЗ працюють ефективно, а які потребують модернізації чи модифікації.

8. Завдяки можливості введення нових даних в імовірнісну модель аналізу критеріїв успіху функцій безпеки системи фізичного захисту, кінцевим кроком є постійний моніторинг щодо появи нових загроз для СФЗ чи перегляду

вже існуючих з внесенням нових коректив можна вдосконалювати СФЗ для підтримання належного рівня безпеки з врахуванням витрат на її модернізацію та модифікацію.

Для цього необхідно регулярно переглядати вже встановлені критерії успіху функцій безпеки системи фізичного захисту залежно від змін у характері загроз, середовищі ризиків, технологій та нормативних вимог, що ставляться до СФЗ, яка розглядається, тому цей процес можна назвати оновленням критеріїв успіху. Далі це дозволяє впроваджувати коригувальні заходи, такі як модернізація та модифікація обладнання, підвищення кваліфікації персоналу, оптимізація процесів за рахунок внесення коректив у критерії успіху на основі зворотного зв'язку та аналізу реальних інцидентів.

Алгоритм визначення критеріїв успіху функцій безпеки СФЗ зображено на рисунку 3.1.

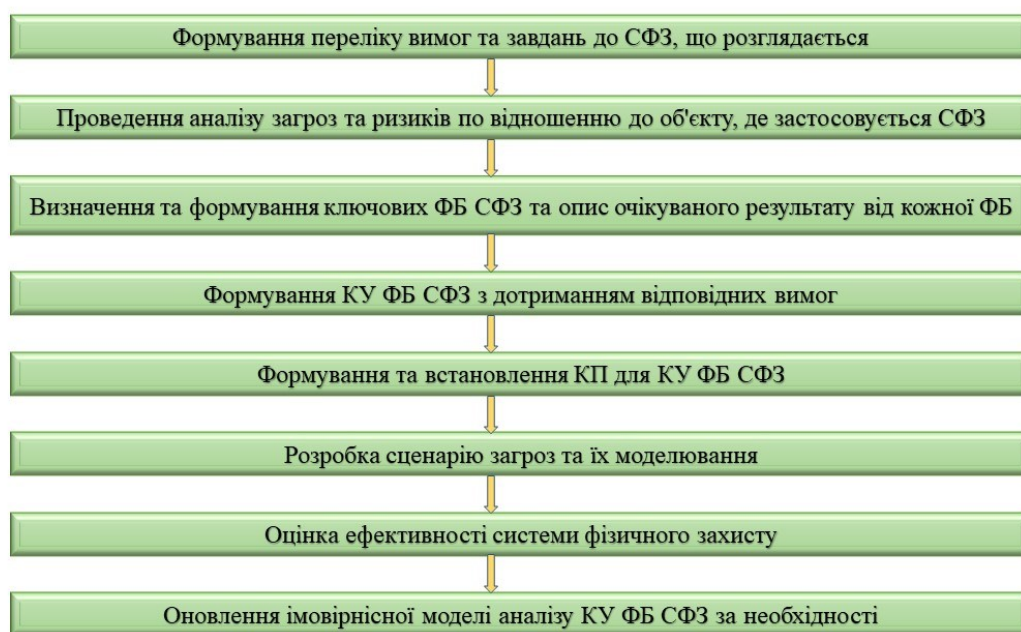


Рисунок 3.1 – Алгоритм визначення критеріїв успіху функцій безпеки СФЗ

Слід зазначити, що методологія визначення критеріїв успіху функцій безпеки системи фізичного захисту має ітераційний характер, тому обов'язковим кроком є уточнення критеріїв успіху.

Спочатку відбувається попереднє визначення критеріїв успіху функцій безпеки системи фізичного захисту. Попередні критерії успіху встановлюються при першій ітерації виконання фізичного імовірнісного аналізу в цілях оптимізації ресурсів та часу. В даному випадку за основу необхідно взяти існуючі результати аналізів, досліджень, а також досвіду експлуатації системи фізичного захисту, що аналізується.

Слід вказати, що необхідно обережно використовувати інформацію, котра взята з «проектних» джерел у зв'язку з наступними факторами – існуюча вхідна інформація не завжди адекватна для правильного визначення критеріїв успіху по відношенню до всього спектру проектних загроз в рамках фізичного імовірнісного аналізу для конкретної системи фізичного захисту. Це несе за собою необхідність виконання серії уточнюючих розрахунків або інших видів інженерних оцінок для системи фізичного захисту, що аналізується.

В подальшому буде виконуватись уточнена оцінка критеріїв успіху функцій безпеки системи фізичного захисту з ціллю:

- 1) моделювання сценаріїв розвитку проектних загроз;
- 2) уточнення критеріїв успіху функцій безпеки для найбільш важливих систем та обладнання системи фізичного захисту;
- 3) уточнення кінцевих станів домінантних аварійних послідовностей по результатам попередніх кількісних розрахунків аварійних послідовностей;
- 4) уточнення наявного часу для виконання персоналом дій по виявленню, реагуванню, перериванню та відновленню;

Методи та підходи виконання покращеної оцінки критеріїв успіху функцій безпеки системи фізичного захисту можуть бути різними, проте всі вони направлені на обґрунтування зниження степені консерватизму, який попередньо був закладений проектом в конструкції, як окрема одиниця систем, обладнання чи системи фізичного захисту в цілому.

Досвід експлуатації системи фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання,

що аналізується, повинен розглядатися в якості основного джерела покращеної оцінки критеріїв успіху функцій безпеки системи фізичного захисту.

Таким чином, імовірнісний аналіз фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання спрямований на оцінку ефективності роботи системи фізичного захисту в умовах виникнення загроз та інцидентів, покращення СФЗ з врахуванням людських, матеріальних, технічних та часових витрат для її модернізації та модифікації в порядку пріоритетності систем, обладнання, елементів СФЗ і її в цілому.

Одним із найважливіших етапів проведення фізичного імовірнісного аналізу системи фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання є визначення критеріїв успіху функцій безпеки СФЗ.

Процедура та методологія визначення критеріїв успіху функцій безпеки системи фізичного захисту є фундаментальним інструментом для забезпечення надійного фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання. Вона спрямована на структурування, оцінку та вдосконалення ефективності всіх ключових функцій безпеки системи фізичного захисту, таких як: запобігання, виявлення, затримка, реагування, переривання.

Визначення критеріїв успіху дозволяє:

- 1) чітко оцінити ефективність системи фізичного захисту в контексті можливих загроз;
- 2) розробити адаптивну систему фізичного захисту із врахуванням специфіки об'єкта, потенційних сценаріїв загроз та актуальних ризиків;
- 3) забезпечити координацію між технічними та людськими ресурсами, що підвищує рівень захисту;
- 4) інтегрувати сучасні технології та імовірнісні підходи, що забезпечують об'єктивність аналізу та прогнозування ефективності захисту.

Методологія базується на багаторівневому підході, який враховує як окремі показники ефективності функцій безпеки, так і їх взаємозалежність у загальній структурі системи фізичного захисту. Постійний моніторинг та впровадження сучасних інструментів аналізу критеріїв успіху функцій безпеки системи фізичного захисту забезпечать безперервний розвиток та підвищення ефективності фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання.

Тому, реалізація процедури та методології визначення критеріїв успіху функцій безпеки системи фізичного захисту сприяє створенню надійного бар'єру для запобігання несанкціонованим та незаконним діям по відношенню до ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання та мінімізує ризики. Її впровадження дозволяє забезпечити максимальну надійність захисту ядерних установок, радіоактивних матеріалів та джерел іонізуючого випромінювання від можливих загроз.

3.4 Висновки до третього розділу

- 1) Розглянуто процес формування проєктних загроз у фізичному імовірнісному аналізі з врахування наявних специфічних особливостей.
- 2) Розроблено процедуру встановлення та аналізу критеріїв успіху функцій безпеки системи фізичного захисту.
- 3) Визначено основні функції безпеки системи фізичного захисту, які безпосередньо до неї встановлюються для подальшого формування критеріїв успіху функцій безпеки.
- 4) Визначено критерії успіху функцій безпеки СФЗ, виходячи з цілей фізичного захисту.
- 5) Визначено орієнтовний перелік систем та складових елементів СФЗ по відношенню до яких встановлюються вторинні критерії успіху.
- 6) Розроблено методологію та алгоритм визначення критеріїв успіху функцій безпеки СФЗ.

7) Встановлено основні відмінності між проведенням оцінки ризиків у ФІА та оцінки вразливості СФЗ.

РОЗДІЛ 4 ПРОЦЕДУРА ВИЗНАЧЕННЯ КРИТЕРІЇВ ПРИЙНЯТНОСТІ ДЛЯ КРИТЕРІЇВ УСПІХУ ФУНКЦІЙ БЕЗПЕКИ СИСТЕМИ ФІЗИЧНОГО ЗАХИСТУ ЯДЕРНИХ УСТАНОВОК

4.1 Процедурні кроки та вимоги, які встановлюються при формуванні критеріїв прийнятності для критеріїв успіху функцій безпеки СФЗ

Критерії успіху функцій безпеки системи фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання є основними показниками виконання функцій безпеки СФЗ та ключовою характеристикою працездатності СФЗ.

Критерії успіху функцій безпеки системи фізичного захисту визначають мінімальні вимоги до СФЗ за яких вона виконає поставлені до неї вимоги, проте якість та адекватність визначення критеріїв успіху безпосередньо встановити не можна. Для характеристики виконання критеріїв успіху використовують критерії прийнятності, які визначають, що критерії успіху були дотримані та відповідно функції безпеки системи фізичного захисту були виконані.

Так, під критерієм прийнятності розуміється числовий показник певної межі, при порушенні якої вважається, що критерій успіху не було дотримано та відповідна функція безпеки не була виконана, що може призвести до непрацездатності системи фізичного захисту.

Критерії прийнятності є цільовими показниками верхнього рівня, по відношенню до яких визначається в кінцевому результаті первинні чи вторинні критерії успіху.

Визначення критеріїв прийнятності для критеріїв успіху функцій безпеки системи фізичного захисту є процесом, що вимагає проведення аналізу ризиків, опрацюванню нормативних вимог, оцінки характеристик об'єкта, що дозволить встановити мінімальні вимоги до функціонування системи фізичного захисту з метою забезпечення її ефективності та відповідності загрозам.

Встановлення критеріїв прийнятності для критеріїв успіху та визначення самих критеріїв успіху є процесом взаємопов'язаним, до того ж для коректного встановлення критеріїв прийнятності необхідно виконати ряд процедур, частина яких виконується для формування критеріїв успіху.

Основними процедурними кроками формування критеріїв прийнятності для критеріїв успіху функцій безпеки системи фізичного захисту є:

1) ідентифікація об'єктів для яких створюється система фізичного захисту, зокрема це можуть бути ядерні установки, ядерні матеріали, радіоактивні відходи, джерела іонізуючого випромінювання чи об'єкти критичної інфраструктури;

2) визначення мети потенційних правопорушників (для фізичного захисту це може бути несанкціонований доступ, крадіжка ядерних чи радіоактивних матеріалів, саботаж, диверсія тощо). На даному етапі оцінка ризиків буде відповідати імовірнісному сценарію потенційної загрози;

3) якісний аналіз вже сформованих критеріїв успіху функцій безпеки системи фізичного захисту для підготовки до наступного кроку, а саме встановлення критеріїв прийнятності;

4) встановлення критеріїв прийнятності (даний етап більш детально буде висвітлений в даному розділі);

5) симуляція, випробування та аналіз результатів для перевірки ефективності функцій безпеки та відповідно виконання критеріїв успіху. На даному етапі встановлюються невідповідності в критеріях успіху, критеріях прийнятності та виконується їх переогляд для відповідності вимогам до СФЗ з врахуванням її індивідуальних особливостей. Тобто, відбувається порівняння отриманих даних з критеріями прийнятності для визначення слабких місць системи фізичного захисту та формування нових критеріїв прийнятності, які не відповідають вимогам;

6) відповідно необхідний постійний моніторинг для регулярної оцінки ефективності функцій безпеки системи фізичного захисту та відповідно критеріїв успіху з відповідними ним критеріями прийнятності.

Процедурні кроки формування критеріїв прийнятності для критеріїв успіху функцій безпеки СФЗ зображено на рисунку 4.1.



Рисунок 4.1 – Процедурні кроки формування критеріїв прийнятності для критеріїв успіху функцій безпеки СФЗ

4.2 Принципи та підходи до формування критеріїв прийнятності для критеріїв успіху функцій безпеки СФЗ

Підходи до встановлення критеріїв прийнятності для критеріїв успіху функцій безпеки можуть бути різні та ґрунтуватися на наступних засадах:

- 1) нормативно-правовий підхід – критеріїв прийнятності встановлюються на основі національних стандартів, законодавства та міжнародних рекомендацій;
- 2) ризик-орієнтований підхід – полягає у визначенні допустимого рівня ризику для кожної функції безпеки, оцінки імовірності подій та наслідків, встановленні критеріїв прийнятності, що штучним шляхом знижують ризики, тобто таких, які мають надлишковий консерватизм;

3) емпіричний підхід – полягає у використанні даних, що ґрунтуються на попередніх інцидентах та їх дослідженнях або встановленні критеріїв прийнятності на основі сценарного моделювання наявних загроз.

В основному, для визначення критеріїв прийнятності для критеріїв успіху функцій безпеки використовують поєднання двох підходів – ризик-орієнтований та емпіричний, що дозволяє уникнути надлишкового консерватизму з високим рівнем відповідності отриманих значень по відношенню до реальних.

При визначенні критеріїв прийнятності для критеріїв успіху функцій безпеки системи фізичного захисту необхідно дотримуватися наступних вимог:

1) чіткість у формування критеріїв прийнятності – вони повинні бути конкретно сформовані та мати розмірну величину, тобто мати кількісну характеристику;

2) відповідати встановленим ризикам по відношенню до системи фізичного захисту – вони повинні відповідати рівню загрози, яка визначена окремо для кожного випадку та для системи фізичного захисту, що розглядається;

3) виконання критеріїв прийнятності повинно відповідати вимогам щодо мінімізації шкоди у випадку загрози чи інциденту;

4) відповідати національним та міжнародним нормам.

При формуванні критеріїв прийнятності для критеріїв успіху функцій безпеки необхідно дотримуватися наступних основних принципів:

1) критерії прийнятності мають забезпечити ефективне зниження імовірності реалізації загроз;

2) критерії прийнятності повинні визначатися для конкретної системи фізичного захисту;

3) критерії прийнятності повинні відповідати вимогам сталого розвитку, тобто вони повинні бути такими, щоб система фізичного захисту залишалася ефективною при змінних умовах функціонування;

4) критерії прийнятності повинні дотримуватись принципу збалансованості, тобто відповідати технічним, часовим та людським можливостям з врахуванням економічної складової.

4.3 Встановлення критеріїв прийнятності для загальних критеріїв успіху по відношенню до СФЗ, що визначаються цілями фізичного захисту ядерних установок та критеріїв прийнятності для відповідних КУ ФБ СФЗ

В попередньому розділі було визначено загальні критерії успіху по відношенню до системи фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання, що визначаються цілями фізичного захисту. Встановимо критерії прийнятності для цих критеріїв успіху [31]:

1) КУ: переривання диверсії спрямованої на важке пошкодження активної зони реактора – КП: не перевищення проєктної межі 1200 °С по температурі оболонки максимально навантаженого ТВЕЛ;

2) КУ: переривання диверсії спрямованої на створення надграничного аварійного викиду у навколишнє середовище – КП: значення еквівалентних індивідуальних доз, розрахованих за найгірших погодних умов на території АЕС, на кордоні санітарно-захисної зони та за її межами, не повинні перевищувати:

А) 0.3 Зв/рік (30 бер/рік) на щитовидну залозу дітей за рахунок інгаляції;

Б) 0.1 Зв/рік (10 бер/рік) на все тіло за рахунок зовнішнього опромінення;

3) КУ: переривання системою фізичного захисту вилучення ядерних матеріалів – КП: час на переривання силами реагування дій правопорушника по вилученню ядерних матеріалів, менший часу, який потрібен правопорушнику для досягнення мети.

4) КУ: переривання системою фізичного захисту вилучення радіоактивних матеріалів – КП: час на переривання силами реагування дій правопорушника по вилученню радіоактивних матеріалів, менший часу, який потрібен правопорушнику для досягнення мети.

Слід зазначити, що визначення критеріїв прийнятності 3 і 4 мають якісний характер і, на відміну від критеріїв прийнятності традиційного імовірнісного аналізу безпеки АЕС, такі критерії в кількісній формі необхідно визначати для

кожного сценарію дій правопорушника окремо, тобто для кожного дерева подій та аварійної послідовності у ньому, будуть свої кількісні значення таких критеріїв прийнятності.

Якщо говорити про вторинні КУ, то критерій прийнятності – це граничні допустимі значення робочих параметрів, наприклад: напруга, що надається на обладнання, температура і волога навколишнього середовища, освітленість, якість та швидкість передачі інформації.

В розділі 3 було визначено функції безпеки системи фізичного захисту та критерії успіху для них. Розглянемо критерії прийнятності для відповідних критеріїв успіху функцій безпеки системи фізичного захисту:

1) ФБ 1 – запобігання – КУ: в даному випадку вони описують досягнення мети ФБ «запобігання»: попередження несанкціонованого доступу, ефективність технічних засобів, стійкість до зовнішніх факторів, контроль доступу. КП: встановлене значення стійкості бар'єрів фізичного захисту, встановлене значення часу для подолання бар'єрів фізичного захисту, система контролю управління доступом повинна забезпечити встановлене значення точності ідентифікації осіб, встановлене відсоткове значення моніторингу критичних зон та як додатковий критерій прийнятності, встановлене значення безперебійної роботи основних компонентів, які відповідають за підтримання ФБ «запобігання» при відмові основних елементів.

2) ФБ 2 – виявлення – для даного випадку, первинними критеріями успіху буде спрацювання хоча б одного засобу виявлення, що дозволить констатувати факт появи небезпеки (виявлення факту правопорушення). Критерій прийнятності при цьому є час, що необхідний для повідомлення про появу правопорушника [31].

Якщо більш детально розглянути дану функцію безпеки, то отримуємо наступні результати (вторинні критерії успіху) – КУ: своєчасність виявлення загрози, КП: система повинна виявляти загрозу за встановлений період часу з моменту її появи в зоні дії датчиків; точність виявлення, тобто кількість пропущених загроз та кількість хибних загроз, КП: встановлені значення невизначених загроз та помилкових загроз; повнота охоплення, тобто відсоткове

значення охоплення критичних зон датчиками, камерами і т.п., яке можна отримати в залежності від ризику реалізації загрози у відповідній зоні; КУ: стійкість до зовнішніх впливів, тобто система повинна бути працездатною за умови стихійних лих, збоїв у живленні чи кібератаках; КП: встановлення відповідних критичних значень метеорологічних параметрів, встановлення часу автономності, встановлення кількісного значення критично-необхідних систем, елементів та складових для підтримання роботи відповідного обладнання; КУ: своєчасна передача інформації до пункту сил реагування; КП: час, необхідний для передачі інформації.

3) ФБ 3 – затримка – первинним критерієм успіху є створення перешкод на шляху правопорушника для сповільнення його дій та подальшого просування. Критерієм прийнятності буде час, що необхідний для початку дій по перериванню злочинних дій правопорушника.

Провівши аналіз даної функції безпеки, встановлено наступні критерії прийнятності для критеріїв успіху (вторинні критерії успіху) – КУ: стійкість бар'єрів захисту (наприклад від механічних, термічних чи хімічних впливів); КП: фіксоване значення часового періоду для підтримання дієздатності бар'єрів, яке дозволить перейти до ФБ «реагування»; КУ: стійкість до зовнішніх впливів; КП: працездатність за умови стихійних лих, збоїв у живленні чи кібератаках; КП: встановлення відповідних критичних значень метеорологічних параметрів, встановлення часу автономності, встановлення кількісного значення критично-необхідних систем, елементів та складових для підтримання роботи відповідного обладнання.

4) ФБ 4 – реагування – первинним критерієм успіху в даному випадку є своєчасне розгортання групи реагування з максимально можливою обізнаністю про утворену ситуацію. Критерієм прийнятності є час, який має бути менший часу, що необхідний для того, щоб правопорушник досягнув своєї мети.

Якщо більш детально розглянути дану функцію безпеки, то для неї встановлюються наступні критерії успіху та відповідні ним критерії прийнятності (вторинні критерії успіху) – КУ: оперативність реагування, тобто, сили реагування

повинні прибути до місця інциденту до завершення часу затримки; КП: максимально допустимий час прибуття сил безпеки до місця події; КУ: узгодження та координація дій персоналу з силами реагування; КП: максимально-критичне значення часу для передачі даних до того, як правопорушник досягнув своєї мети.

5) ФБ 5 – переривання – первинний критерій успіху полягає у припиненні зловмисних дій правопорушника до того, як він досягне своєї мети. Критерієм прийнятності буде час переривання, який має бути меншим часу, що необхідний правопорушнику для виконання своєї мети.

При дослідженні даної функції безпеки, виділено ще декілька критеріїв успіху та встановлено у відповідність критерії прийнятності (вторинні критерії успіху) – КУ: ефективність заходів переривання, тобто достатність засобів для переривання дій правопорушника, незалежно від рівня його підготовки та озброєння, КП: встановлене значення успішного переривання дій правопорушника та значення безвідмовної роботи технічних засобів; КУ: успішна інтеграція з ФБ «виявлення» та «реагування», КП: необхідний час передачі інформації про загрозу та час автоматичного спрацювання засобів переривання після сигналу про виявлення та реагування.

Таким чином, формування критеріїв прийнятності для критеріїв успіху функцій безпеки системи фізичного захисту є основним аспектом при визначенні критеріїв успіху та відповідно при оцінці ефективності роботи системи фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання, адже від якості та вірності визначення порогових показників критеріїв прийнятності залежить процес встановлення критеріїв успіху, які формують загальну картину щодо виконання функцій безпеки системи фізичного захисту та її складових, що дозволяє визначити найбільш критичні аспекти в СФЗ, виявити її раніше невідомі вразливі місця, змодельовати хід протікання небажаної події та в кінцевому етапі надати рекомендації щодо підвищення рівня захисту. Це в свою чергу впливає на створення ефективної та надійної системи фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів,

радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання з врахуванням технічних, фінансових, часових та людських затрат.

Значущість критеріїв прийнятності полягає в тому, що вони є фундаментальною складовою для оцінки ефективності функцій безпеки систем фізичного захисту. Вони забезпечують мінімально допустимі вимоги, необхідні для захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів та інших джерел іонізуючого випромінювання від несанкціонованого доступу, крадіжки чи саботажу.

Процедура формування критеріїв прийнятності включає аналіз ризиків, вивчення нормативних вимог, оцінку характеристик об'єкта та впровадження моніторингу для подальшої модифікації та модернізації системи фізичного захисту. Такий підхід дозволяє врахувати всі аспекти безпеки, включаючи фізичні, технічні, організаційні та зовнішні фактори, що пов'язані з стихійною природою небезпеки.

Основними вимогами до критеріїв прийнятності є: їх формування в числових значеннях з вказанням одиниці виміру, відповідність вимогам, що до них ставляться, відповідність ризикам та актуальність (необхідність враховувати зміни у рівнях загроз, нові технології та зміни у вимогах безпеки).

Процедура визначення критеріїв прийнятності складається з дотриманням наступних етапів:

- 1) аналіз ризиків для визначення ймовірності та наслідків потенційних загроз;
- 2) встановлення цілей захисту та функцій безпеки, таких як «запобігання», «виявлення», «затримка», «реагування» та «переривання»;
- 3) формування технічних і організаційних параметрів для кожної функції безпеки;
- 4) проведення тестувань, моделювань інцидентів і аудитів для перевірки ефективності встановлених критеріїв прийнятності.

Основні етапи, яких потрібно дотримуватися при встановленні критеріїв прийнятності для критеріїв успіху ФБ СФЗ наведено на рисунку 4.2

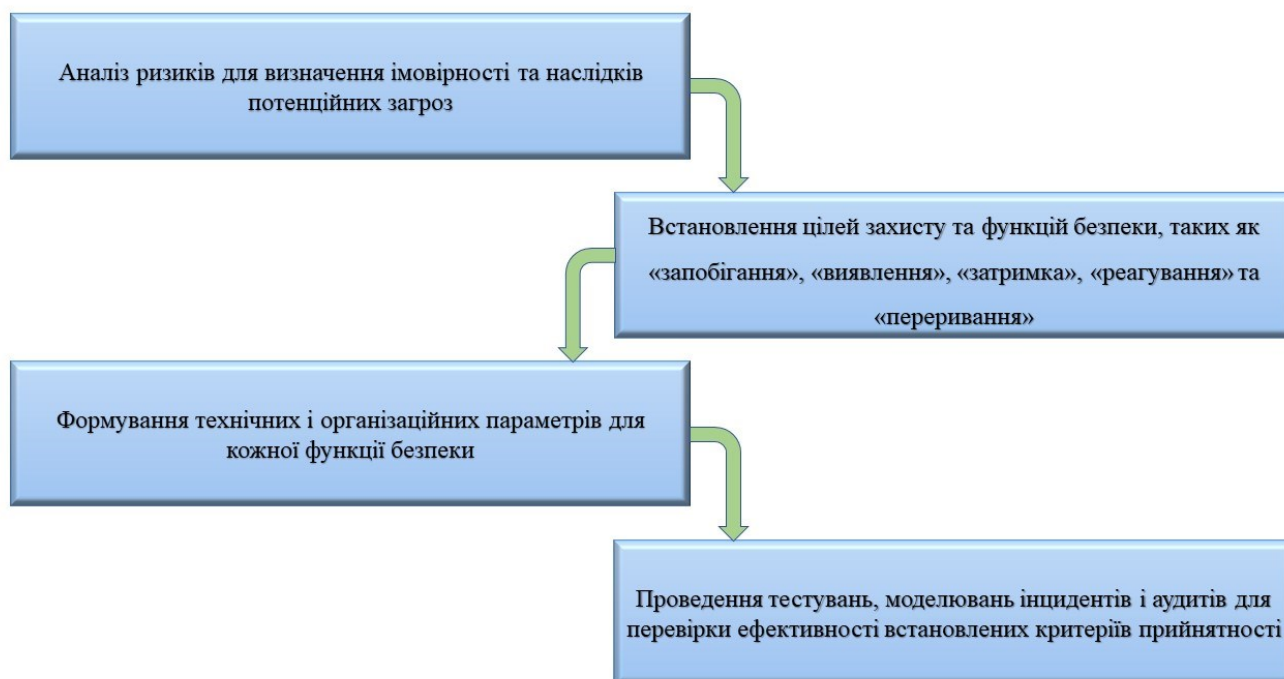


Рисунок 4.2 – Основні етапи, яких необхідно дотримуватися при встановленні критеріїв прийнятності для критеріїв успіху ФБ СФЗ

Критерії прийнятності повинні бути повністю інтегровані у структуру системи фізичного захисту, забезпечуючи узгоджену роботу всіх її компонентів. Це включає інтеграцію систем «запобігання», «виявлення», «затримки», «реагування», «переривання» та автоматичне передавання даних між ними.

Регулярний моніторинг і перегляд критеріїв прийнятності є критично важливими моментами для підтримання ефективності системи фізичного захисту у динамічному середовищі. Це дозволяє адаптувати систему фізичного захисту до нових загроз, таких як поява нових технологій, що дозволяють обійти СФЗ чи зміни у характеристиках загроз.

Сформована процедура визначення критеріїв прийнятності для критеріїв успіху функцій безпеки системи фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання дозволяє:

- 1) забезпечити системний підхід до оцінки фізичного захисту;

- 2) оптимізувати ресурси для захисту із найвищими рівнями ризику;
- 3) підвищити надійність і стійкість системи фізичного захисту до зовнішніх і внутрішніх загроз.

Слід зазначити, що завдяки такій процедурі формування критеріїв прийнятності та такому підходу до оцінки критеріїв успіху функцій безпеки системи фізичного захисту забезпечується реалістичність отриманих даних не дивлячись на специфіку фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання та забезпечується «відсікання» надлишкового консерватизму.

4.4 Висновки до четвертого розділу

- 1) Розроблено процедурні кроки формування критеріїв прийнятності для критеріїв успіху ФБ СФЗ у ФІА.
- 2) Сформовано принципи та вимоги, яких необхідно дотримуватися при визначенні критеріїв прийнятності для критеріїв успіху ФБ СФЗ.
- 3) Встановлено критерії прийнятності для загальних критеріїв успіху по відношенню до СФЗ, що визначаються цілями фізичного захисту ядерних установок.
- 4) Встановлено критерії прийнятності для основних критеріїв успіху ФБ СФЗ.
- 5) Сформовано узагальнені критерії прийнятності (визначаються для кожного окремого випадку) для вторинних критеріїв успіху ФБ СФЗ.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Провівши дослідження щодо залучення традиційного імовірнісного аналізу безпеки АЕС для фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання, встановлено, що безпосередньо використати традиційний ІАБ АЕС для фізичного захисту не є можливо, адже з'являються нові моменти, аспекти, особливості, які не враховує традиційний ІАБ АЕС. Зокрема, це специфіка інженерно-технічних засобів та обладнання системи фізичного захисту, поява таких загроз, як внутрішні та зовнішні правопорушники, диверсія, саботаж тощо. Розроблено рекомендації для врахування у фізичному імовірнісному аналізі специфіки фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання.

2. Так-як процес формування нового інструменту для імовірнісного аналізу фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання є процесом довготривалим та вимагає залучення значних людських, технічних та матеріальних ресурсів, в дисертаційній роботі розроблено методологія та процедуру визначення критеріїв успіху функцій безпеки системи фізичного захисту, як складової перспективного імовірнісного аналізу фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання – фізичного імовірнісного аналізу.

3. Виконано аналіз нормативно-правової бази у сфері фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання та аргументовано необхідність зміни та її доопрацювання через невідповідність чинному законодавству України.

4. Визначено основні відмінності між фізичним імовірнісним аналізом та традиційним імовірнісним аналізом безпеки АЕС.

5. Наведено характеристику фізичного імовірнісного аналізу та алгоритм його виконання. Визначено відмінності у підходах, процедурах та методах до розробки імовірнісної моделі у ФІА та традиційному ІАБ АЕС.

6. Проведено аналіз процесу формування проєктних загроз ФІА з врахуванням наявних специфічних особливостей фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання.

7. Сформульовано концепцію інтеграції аналізу критеріїв успіху функцій безпеки СФЗ до фізичного імовірнісного аналізу ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання. Розроблено нові підходи до оцінки критеріїв успіху функцій безпеки системи фізичного захисту, що враховують специфічні загрози, пов'язані з можливими актами, диверсії, саботажу, неправомірного вилучення ядерних чи радіоактивних матеріалів.

8. Розроблена методологія визначення та аналізу критеріїв успіху функцій безпеки системи фізичного захисту полягає у зборі і попередній підготовці інформації для оцінки ризиків фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання; визначенні основних та додаткових функцій безпеки для кожного елемента системи фізичного захисту та для СФЗ в загальному; визначенні критеріїв успіху функцій для кожного елемента системи фізичного захисту та для СФЗ в загальному; розробці інструментів для формування критеріїв прийнятності з оцінкою ризиків різних сценаріїв загроз, дій правопорушників.

9. Розроблено алгоритм оцінки критеріїв успіху функцій безпеки СФЗ та запропоновано інтегральний підхід до використання імовірнісного аналізу безпеки для фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання, що дозволяє ефективніше оцінювати працездатність систем захисту в умовах реальних загроз.

10. Встановлено та досліджено основні відмінності між проведенням оцінки ризиків у ФІА та оцінки вразливості СФЗ.

11. Визначено критерії успіху та відповідні ним критерії прийнятності для функцій безпеки системи фізичного захисту, що є універсальними для різних ядерних установок і таких, які не є універсальними та визначаються в кожному конкретному випадку окремо.

12. Розроблено процедурні кроки формування критеріїв прийнятності для критеріїв успіху ФБ СФЗ у ФІА та сформовано принципи та вимоги на яких ґрунтується їх визначення.

13. Якщо розглядати напрями подальших досліджень в сфері фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання, то пропонується: розширити методологію для врахування кіберзагроз, які на сьогоднішній день залишаються актуальними; розробити програмно-аналітичні інструменти для автоматизації процесу оцінки критеріїв успіху функцій безпеки СФЗ; створити автоматизовані системи підтримки прийняття рішень на основі аналізу критеріїв успіху та критеріїв прийнятності функцій безпеки системи фізичного захисту для забезпечення адаптивності СФЗ; інтегрувати розроблену методологію в процеси підготовки персоналу для кожних конкретних загроз та окремих (тобто «індивідуальних») систем фізичного захисту; вдосконалити інструменти оцінки ризиків на основі інтеграції перспективного фізичного імовірнісного аналізу з традиційними методами аналізу вразливостей (наприклад порядок проведення оцінки вразливості ядерних установок та ядерних матеріалів); дослідити можливість залучення даної методології до інших критичних об'єктів інфраструктури, як таких, що пов'язані з об'єктами енергетики, так з такими, що не мають відношення до енергетики.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Електроенергія, вироблена українськими АЕС в умовах російського терору проти енергетичних об'єктів України, утримала вітчизняну енергосистему /ДП «НАЕК «Енерго-атом». – 2023. – Назва з екрану. – URL: <https://www.energoatom.com.ua/o-2808233.html>.

2. Про фізичний захист ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання : Закон України № 2064-III від 16.10.2022 р. Відомості Верховної Ради України, 2001.

3. НП 306.7.086-2004 Облік та контроль ядерного матеріалу, фізичний захист ядерного матеріалу і ядерних установок. Тлумачний словник українських термінів. Словники термінів: українсько-англо-російський, русско-украинско-английский, english-russian-ukrainian. – 2004.

4. Про затвердження Правил фізичного захисту ядерних установок та ядерних матеріалів. Наказ Державного комітету ядерного регулювання України № 116 від 04.08.2006. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 21 вересня 2006 р. за № 1067/12941.

5. Про затвердження Загальних вимог до систем фізичного захисту ядерних установок та ядерних матеріалів і Загальних вимог до систем фізичного захисту ядерних матеріалів при їх перевезенні Наказ Державного комітету ядерного регулювання України № 156 від 28.08.2008. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 21 жовтня 2008 р. за № 999/15690.

6. Про затвердження Вимог щодо застосування охорони в системі фізичного захисту ядерних установок, об'єктів, призначених для поводження з радіоактивними відходами, іншими джерелами іонізуючого випромінювання, радіоактивних матеріалів. Наказ Державного комітету ядерного регулювання України № 164 від 23.11.2010. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 15 грудня 2010 р. за № 1265/18560.

7. Про затвердження Вимог до оцінки стану системи обліку та контролю ядерних матеріалів. Наказ Державної інспекції ядерного регулювання України № 84 від 09.04.2012. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 27 квітня 2012 р. за № 647/20960.

8. Про затвердження Вимог до зон обмеження доступу, контролю та управління доступом у зони обмеження доступу. Наказ Державної інспекції ядерного регулювання України № 177 від 05.12.2011. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 23 грудня 2011 р. за № 1509/20247.

9. Конвенція про фізичний захист ядерного матеріалу та ядерних установок. Про участь України у Конвенції про фізичний захист ядерного матеріалу 1980 року. Відомості Верховної Ради України (ВВР). № 24. – 1993.

10. Про затвердження Вимог до об'єктового плану взаємодії у разі вчинення диверсії. Наказ Державного комітету ядерного регулювання України № 163 від 22.11.2010. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 15 грудня 2010 р. за № 1264/18559.

11. Про затвердження Порядку проведення оцінки вразливості ядерних установок та ядерних матеріалів. Наказ Державного комітету ядерного регулювання України № 169 від 30.11.2010. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 2 грудня 2010 р. за № 1309/18604.

12. Про затвердження Порядку визначення рівня фізичного захисту ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання відповідно до їх категорії. Постанова Кабінету Міністрів України № 625 від 26 квітня 2003 р.

13. Характеристика гіпотетичної ядерної установки Поліська атомна електростанція «Об'єктова проєктна загроза Поліської АЕС».

14. IAEA, Nuclear Security Culture: Implementing Guide, nuclear security series № 7. — Vienna, 2008.

15. IAEA, Nuclear Security Culture: Implementing Guide, nuclear security series № 30-G. — Vienna, 2018.

16. IAEA, Safeguards Glossary: Edition, International Nuclear Verification Series № 3. — Vienna, 2001.
17. IAEA, Nuclear Security Recommendations on Radioactive Material and Associated Facilities: Nuclear Security Series № 14. — Vienna, 2011.
18. Про фізичний захист ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання : Закон України № 2064-III (2064-14) від 19 жовтня 2000 року. Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2001, № 1, ст.1.
19. IAEA, Nuclear security recommendations on physical protection of nuclear material and nuclear facilities (INFCIRC/225/Revision 5): Nuclear Security Series № 13. — Vienna, 2011.
20. IAEA, Nuclear security recommendations on physical protection of nuclear material and nuclear facilities (INFCIRC/225/Revision 5): Nuclear Security Series № 27-G. — Vienna, 2018.
21. IAEA, Technical Guidance: Identification of Vital Areas at Nuclear Facilities: Nuclear Security Series № 16. — Vienna, 2024.
22. IAEA, Technical Guidance: Identification of Vital Areas at Nuclear Facilities: Nuclear Security Series № 48-T. — Vienna, 2013.
23. І. Я. Кузмяк Ядерна захищеність: синонім фізичного захисту чи складова ядерної та радіоактивної безпеки? / І. Я. Кузмяк, В. І. Кравцов, О. В. Печериця, О. В. Пасека // Ядерна та радіаційна безпека. - 2017. - № 2. - С. 51-59.
24. Kuzmiak, I. Розвиток фізичного захисту радіоактивних відходів як крок до підтримання ядерної захищеності. / Kuzmiak, I., & Kravtsov, V. // Ядерна та радіаційна безпека. – 2017. - № 4(76). – С. 63-69.
25. І. Я. Кузмяк Оцінка стану фізичного захисту ядерних установок як базис постійного підтримання режиму ядерної захищеності / Г. М. Вагін, В. І. Кравцов // – Ядерна та радіаційна безпека. – 2018. – 2(78). С. 55-58.
26. Д.В. Чумак Міжнародні інструменти у покращенні ядерної захищеності / Д.В. Чумак // – Вісник ОНУ ім. І.І.Мечникова. – 2014. - № 2(21). С. 94-103.

27. Про затвердження Загальних положень безпеки атомних станцій. Наказ Державного комітету ядерного регулювання України № 162 від 19.11.2007. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 25 січня 2008 р. за № 56/14747.

28. Горбачик, С.О. Можливості залучення імовірнісного аналізу безпеки для фізичного захисту ядерних установок / С.О. Горбачик, С.В. Клевцов // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – 2024. – № 4. С. 69-73.

29. Бігун В.В. Імовірнісний аналіз безпеки атомних станцій / Бігун В.В., Горбунов О.В., Каденко І.М., Письмовий О.М., Зенюк А.Ю., Литвинський Л.Л. // Київ. – 2000. – С. 568.

30. Swain A. D. Handbook of human reliability analysis with emphasis on nuclear power plant application. / Swain A. D., Guttman H.E. // (Sandia National Laboratories, NUREG/CR-1278), DC: U.S. Nuclear Regulatory Commission. Washington. – 1983.

31. Horbachyk S.O. Approach to the analysis of success criteria as a component of probabilistic physical protection analysis of nuclear facilities / S.O. Horbachyk, V.A. Kondratyuk, S.V. Klevtsov // Problems of atomic science and technology (PAST) – 2024. - № 4. – P. 142-147.

32. С.О. Горбачик С.О. Застосування аналізу критеріїв успіху імовірнісного аналізу безпеки аес при імовірнісній оцінці ефективності фізичного захисту. / С.О. Горбачик, В.А. Кондратюк, С.В. Клевцов. // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2024. – № 4. – с. 7-11.

33. Використання імерсивних технологій у навчанні та підготовці фахівців з фізичного захисту: магістерська робота/ Дмитро Балашевський. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. –ТЗ-з21мп.023.0000.001.МД.

34. IAEA, Implementing Guide: Security of Nuclear Material in Transport Nuclear Security Series № 26-G. — Vienna, 2015.

35. IAEA, Technical Guidance: Detection in a State's Interior of Nuclear and Other Radioactive Material out of Regulatory Control. – Nuclear Security Series № 47-T. — Vienna, 2024.

36. Бігун В.В. Культура безпеки в ядерній енергетиці / Бігун В.В., Широков С.В., Бегун С.В., Письменний Є.М., Литвинов В.В., Казачков І.В. // Київ. – 2012. – С. 539.

**ДОДАТОК А. ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ РОЗРОБЛЕНИХ ПІДХОДІВ
ТА РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ**

ПОГОДЖЕНО

Зав. кафедри атомної енергетики
 НН ІАТЕ КПІ ім. Ігоря Сікорського
 Валерій ТУЗ _____
 “ ” _____ 2025 р.

ЗАТВЕРДЖЕНО

в.о. директора НН ІАТЕ
 КПІ ім. Ігоря Сікорського
 Євген ПИСЬМЕННИЙ _____
 “ ” _____ 2025 р.



АКТ

Про використання в навчальному процесі кафедри атомної енергетики навчально-наукового інституту атомної та теплової енергетики Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського" результатів дисертаційної роботи Горбачика Сергія Олеговича
 “Розробка методології та процедури аналізу критеріїв успіху в імовірнісному аналізі ядерної захищеності”.

Комісія у складі заступника директора навчально-наукового інституту атомної та теплової енергетики Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського" к.т.н., доц. Шевеля Є.В. (голова комісії) та викладачів кафедри атомної енергетики д.т.н., проф. Кравця В.Ю. і к.т.н., доц. Клевцова С.В. розглянула стан використання матеріалів дисертаційної роботи Горбачика С.О. при підготовці фахівців за спеціальністю 143 Атомна енергетика.

Комісія прийшла до висновку:

Матеріали дисертаційної роботи Горбачика С.О. входять до складу дисципліни “Використання оцінки ризику у фізичній ядерній безпеці”. Вищезазначена дисципліна викладається студентам кафедри атомної енергетики за спеціальністю 143 Атомна енергетика.

Голова комісії:

Члени комісії:

_____ /к.т.н., доц. Шевель Є.В./
 _____ /д.т.н., проф. Кравець В.Ю. /
 _____ /к.т.н., доц. Клевцов С.В. /

АКТ

про використання в навчальному процесі у Навчальному центрі з фізичного захисту обліку та контролю ядерного матеріалу ім. Джорджа Кузмича результатів дисертаційної роботи Горбачика Сергія Олеговича «Розробка методології та процедур аналізу критеріїв успіху в імовірнісному аналізі ядерної захищеності»

Даним актом стверджується, що результати дисертаційної роботи на тему «Розробка методології та процедур аналізу критеріїв успіху в імовірнісному аналізі ядерної захищеності», що представлена на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 14 Електрична інженерія, за спеціальністю 143 Атомна енергетика виконаної Горбачиком Сергієм Олеговичем впроваджено у навчальну програму курсу підвищення кваліфікації фахівців у рамках спеціальності 143 Атомна енергетика у Навчальному центрі з фізичного захисту обліку та контролю ядерного матеріалу ім. Джорджа Кузмича – «Визначення особливо важливих зон» лекційне та практичне заняття за темою «Побудова дерева диверсійних ушкоджень».

Завідувач НЦДК



/Сергій ДРАПЧУК

ДОДАТОК Б. СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Публікації, в яких представлені основні наукові результати дисертації:

1. Горбачик, С.О. Можливості залучення імовірнісного аналізу безпеки для фізичного захисту ядерних установок / С.О. Горбачик, С.В. Клевцов // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – 2024. – № 4. С. 69-73. DOI: <https://doi.org/10.20998/2078-774X.2023.04.10>
2. Horbachyk S.O. Approach to the analysis of success criteria as a component of probabilistic physical protection analysis of nuclear facilities / Kondratyuk V.A., Klevtsov S.V. // Problems of Atomic Science and Technology. –2024. – №4(152). – P.142-147. DOI: <https://doi.org/10.46813/2024-152-142>
3. Горбачик С.О. Застосування аналізу критеріїв успіху імовірнісного аналізу безпеки АЕС при імовірнісній оцінці ефективності фізичного захисту. / Горбачик С.О., Кондратюк В.А., Клевцов С.В. // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2024. – № 4. С. 7-11. DOI: <https://doi.org/10.20535/1813-5420.4.2024.315549>

Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

4. Горбачик С. О. Впровадження імовірнісного аналізу безпеки атомних електростанцій для системи фізичного захисту ядерних установ / С. О. Горбачик, С. В. Клевцов, В. А. Кондратюк // Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування : Матеріали ХІХ міжнародної науково-технічної конференції. Харків 21–22 грудня 2023 р. – С. 46-47. (<https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/80829>).