

***Імовірнісний аналіз безпеки для періодичної переоцінки безпеки енергоблоків
АЕС України***

***Вероятностный анализ безопасности для периодической переоценки
безопасности энергоблоков АЭС Украины***

***Probabilistic safety analysis for periodic safety reassessment of Ukrainian NPP power
units***

Науковий керівник - доц. каф. Атомних електричних станцій, доктор техн. наук Комаров Ю.О., Комаров Ю.А., Komarov Yu.O.
Студент групи ТЯ-1504 - Власюк А.Р., Власюк А.Р., Vlasyuk A.R.

Анотація: Розглянуто звіт з періодичної переоцінки безпеки (ЗППБ), його призначення, структура, основне наповнення. Представлений порядок виконання імовірнісного аналізу безпеки атомних станцій (ІАБ). Показано роль і місце ІАБ взагалі і в рамках ЗППБ зокрема. Показано, як проводяться зміни ІАБ для цілей створення ЗППБ: збір змін на енергоблоці, якісна оцінка впливу змін на дані і моделі ІАБ, внесення змін у вихідні дані і моделі ІАБ, перерахунок ЧПАЗ, ЧПАВ.

Ключові слова: АЕС, періодична переоцінка безпеки, імовірнісний аналіз безпеки, модифікація енергоблоку, ЧПАЗ, ЧПАВ.

Аннотация: Рассмотрен отчет по периодической переоценке безопасности (ОППБ), его назначение, структура, основное наполнение. Представлен порядок выполнения вероятностного анализа безопасности атомных станций (ВАБ). Показано роль и место ВАБ вообще и в рамках ОППБ в частности. Показано как проводится изменения ВАБ для целей создания ОППБ: сбор изменений на энергоблоке, качественная оценка влияния изменений на данные и модели ВАБ, внесение изменений в исходные данные и модели ВАБ, пересчет ЧПАЗ, ЧПАВ.

Ключевые слова: АЭС, периодическая переоценка безопасности, вероятностный анализ безопасности, модификация энергоблока, ЧПАЗ, ЧПАВ.

Annotation: Considered the report on periodic safety reassessment (PSRR), its purpose, structure, main content. The procedure for performing probabilistic safety analysis of nuclear power plants (PSA) is presented. The role and place of PSA in general and within the framework of the PPSP in particular is shown. It is shown how the PSA changes are carried out for the purpose of creating the PPPB: collection of changes at the power unit, a qualitative assessment of the impact of changes on the PSA data and models, making changes to the initial data and PSA models, recalculating the CPAZ, FAS.

Key words: NPP, periodic safety reassessment, probabilistic safety analysis, power unit modification, CHPAZ, CHPAV.

Введення

Призначенням атомної електростанції є виробництво конкурентноспроможної - в контексті сучасної економіки - електроенергії. Атомною електричною станцією (АЕС) називається промислове підприємство для виробництва електричної енергії в заданих режимах і умовах застосування та розташоване в межах конкретної території, на якій для здійснення цієї мети

використовується ядерний реактор і комплекс необхідних систем, пристроїв, обладнання та споруд з необхідним персоналом [1]. Зазвичай АЕС складається з декількох енергоблоків.

Як будь-який інший великий промисловий комплекс, АЕС є джерелом ризику для навколишнього середовища. Ризик цей пов'язаний в основному з виробництвом, утриманням і збереженням радіоактивних речовин. Для того, щоб ризик був прийнятним, приймаються різні заходи на всіх етапах життєвого циклу АЕС, починаючи з розробки і закінчуючи демонтажем. Зокрема, проводиться аналіз безпеки проекту станції, для якого повинні застосовуватися методи як детермінованого, так і імовірнісного аналізу. На основі цього аналізу встановлюється і підтверджується основа проекту для вузлів, важливих для безпеки [2].

В процесі експлуатації АЕС проект енергоблоку зазнає різні зміни: проводиться модернізація обладнання і систем, змінюються експлуатаційні, аварійні інструкції / керівництва, змінюється система управління енергоблоком, з'являється нова експлуатаційна статистика по відмовах / дефектах. Дані зміни можуть впливати на результати аналізу безпеки і, зокрема, на результати ІАБ. Для аналізу та обліку даних змін періодично розробляється спеціальний звіт, який називають Звітом з періодичної переоцінки безпеки (ЗППБ).

1. Звіт з періодичної переоцінки безпеки

ЗППБ розробляється для кожного з енергоблоків АЕС і охоплює всі аспекти, важливі для безпеки. З цією метою певний енергоблок розглядається як виробничий комплекс, що включає безпосередньо енергоблок, а також всі установки, об'єкти, споруди, що входять у комплекс енергоблоків і зазначені в ліцензії на право здійснення діяльності "експлуатація ядерної установки". Періодична переоцінка безпеки енергоблоку АЕС містить комплексний аналіз безпеки, який здійснюється з урахуванням вкладу результатів, отриманих при розгляді кожного з факторів безпеки, і їх взаємного впливу [3].

У ЗППБ надається чотирнадцять факторів безпеки (ФБ), які, відповідно до рекомендацій МАГАТЕ, розподіляються за такими групами:

- Технічний стан систем і елементів:
 - ФБ-1 - проект енергоблока АЕС;
 - ФБ-2 - поточний технічний стан систем і елементів;
 - ФБ-3 - кваліфікація обладнання;
 - ФБ-4 - старіння споруд, систем та елементів.
- Аналіз безпеки:
 - ФБ-5 - детерміністичний аналіз безпеки;
 - ФБ-6 - імовірнісний аналіз безпеки;
 - ФБ-7 - аналіз внутрішніх і зовнішніх подій.
- Експлуатаційна безпека та зворотній зв'язок від досвіду експлуатації:
 - ФБ-8 - експлуатаційна безпека;
 - ФБ-9 - використання досвіду інших АЕС і результатів наукових досліджень.
- Управління:
 - ФБ-10 - організація і управління;
 - ФБ-11 - експлуатаційна документація;
 - ФБ-12 - людський фактор.
- Аварійна готовність і планування (ФБ-13).

- Вплив на навколишнє середовище (ФБ-14).

У ЗППБ визначається поточний стан енергоблоку і прогноз зміни кожного ФБ до наступної переоцінки безпеки або до терміну припинення експлуатації енергоблоку АЕС. Тривалість розробки ЗППБ не повинна перевищувати 3 роки для забезпечення актуальності наведених даних.

2. Імовірнісний аналіз безпеки

ІАБ – це всебічний, структурований підхід до визначення сценаріїв відмов, що представляє собою концептуальний та математичний засіб для отримання чисельних оцінок ризику. Він є одним з найбільш дієвих і ефективних інструментів в оцінці ризику експлуатації діючих і проєктованих енергоблоків АЕС.

ІАБ використовується в наступних цілях [4]:

- Кількісна оцінка рівня безпеки і його зіставлення з чинними стандартами;
- Визначення найбільш важливих факторів, що впливають на безпеку атомної станції; виявлення проблем, обумовлених проєктом або експлуатацією, які потребують вирішення або подальшого вивчення (визначення комбінацій вихідних подій, відмов обладнання і помилок персоналу, які можуть привести до небажаних наслідків зі значною частотою);
- Отримання інформації, необхідної для підвищення рівня поточної експлуатації (визначення або уточнення технічних вимог по режимам експлуатації, технічного обслуговування, ремонту і випробувань систем та окремого обладнання).

В ІАБ повинні аналізуватися всі вихідні події, що передбачаються проєктом, тому ІАБ ділиться на кілька рівнів:

ІАБ 1 рівня. Обсяг виконання робіт обмежений розглядом лише внутрішніх подій. Об'єктом аналізу в рамках даного проєкту є основною потенційне джерело радіоактивного забруднення навколишнього середовища і опромінення персоналу та населення більш безпечних меж - активна зона реактора, що працює на номінальному і зниженому рівні потужності.

Основною метою виконання ІАБ-1 є визначення інтегрального показника ризику експлуатації енергоблоку АЕС - частоти пошкодження активної зони (ЧПАЗ).

ІАБ 2 рівня. Визначає кількість викидів продуктів радіоактивного розпаду при пошкодженні або руйнуванні активної зони ядерної установки, ізотопний склад продуктів розпаду - обсяг викидів, і оцінку вірогідності або частот таких подій, тобто ІАБ-2 розглядає запроєктні аварії. Перелік вихідних подій для виконання ІАБ-2 отримують при класифікації станів з пошкодженням джерел радіоактивності (реакторна установка і басейн витримки) при виконанні ІАБ-1.

ІАБ 3 рівня. Містить аналіз поширення радіоактивних речовин при запроєктній аварії - руйнуванні або пошкодженні активної зони (або інших джерел радіоактивності на АС) в залежності від метеорологічних, кліматичних, гідрографічних та інших умов протікання запроєктної аварії. Результати ІАБ-3 використовують для розробки плану заходів щодо захисту населення при важких аваріях.

"Level PSI" — "живий ІАБ" — періодично оновлюваний імовірнісний аналіз безпеки АС. У розрахунках враховуються всі зміни, що проводяться на блоці під час ремонтів і технічного обслуговування. Використовується він для оцінки

проведених заходів з безпеки. Може використовуватися для надання допомоги оператору в оцінці подій, що відбуваються на блоці АС, і прийняття правильних (оптимальних) рішень управління при різних модернізаціях. Очевидно, що для таких розрахунків повинні бути також заздалегідь заготовлені всі вихідні дані і математичні (ймовірні) моделі вирішуваних завдань.

Проведення процедури ІАБ першого рівня складається з переліку основних завдань (складових роботи) [5,6]:

1. База даних по системам. Представлено опис систем з урахуванням модернізацій і замін обладнання, передбачених до реалізації (технологічні системи першого і другого контурів, забезпечуючі системи, управляючі системи, локалізуючі системи).

2. База даних по надійності обладнання. Представлений збір і первинна обробка експлуатаційних даних, групування обладнання, розрахунок напрацювань обладнання, розрахунок показників надійності, відмови обладнання по загальній причини.

3. База даних по інцидентах і порушеннях. Дана БД містить результати збору і обробки експлуатаційних даних по інцидентах і порушеннях, що сталися на уже згадуваному енергоблоці та інших енергоблоках АЕС.

4. Аналіз критеріїв успіху для ІАБ 1-го рівня. Метою аналізу є встановлення, для кожної вихідної події аварії (ВПА), вимог до мінімальної конфігурації систем і розрахунковому часу дій оператора, виконання яких дозволить системам виконати відповідні функції безпеки. При цьому, зрештою, встановлюються умови безпечного кінцевого стану ("гарячий" або "холодний" останов), з виконанням критеріїв успіху.

Формування КУ спирається на:

- результати теплогідравлічних розрахунків, виконаних в рамках ІАБ;
- інформацію з проектної документації енергоблоку;
- експертні оцінки персоналу енергоблоку.

У розділі представлені наступні блоки розрахункових сценаріїв ВП:

- великі течі теплоносія першого контуру (включаючи максимальну проектну аварію);
- середні течі теплоносія першого контуру;
- малі некомпенсовані течі теплоносія першого контуру;
- течі з першого контуру, що компенсуються системою ТК;
- перехідні процеси, що призводять до збільшення тепловідведення через другий контур;
- втрата електропостачання всіх секцій 6 кВ власних потреб блоку;
- втрата основної живильної води;
- перехідні процеси без спрацювання АЗ.

5. Моделювання аварійних послідовностей У розділі представлені результати моделювання аварійних послідовностей (АП) і розробки дерев подій (ДП) для ІАБ енергоблоку АЕС. Метою виконання даної підзадачі є детальний аналіз відповідної реакції енергоблоку на виникнення події.

В рамках даного етапу робіт виконується:

- оновлення дерев подій;
- в моделі аварійних послідовностей внесені необхідні зміни, що враховують виявлені модифікації на енергоблоці, внесені зміни в бази даних;
- виконані коригування, необхідні для забезпечення інтерфейсу з ІАБ 2 рівня.

6. Моделювання систем. В даному розділі наводиться опис моделей систем енергоблоку. Основне завдання системного моделювання - встановлення логічних залежностей між окремими елементами системи (наявність резервування, залежної відмови компонентів і т.д.) і логічного зв'язку між системами (залежність працездатності елементів однієї системи від працездатності інших систем). Результатом системного моделювання є імовірнісна модель системи, яку використовують (під'єднують) в функціональній моделі, яка визначає зв'язок між системними моделями для виконання ФБ в кожному конкретному ВПА. У свою чергу функціональні імовірнісні моделі входять (приєднуються) як верхні події в ДП.

7. Аналіз надійності персоналу. Розділ містить інформацію про надійність протиаварійних дій оперативного персоналу енергоблоку АЕС з розрахунком ймовірності помилки при виконанні даних дій. Результати аналізу використовуються як базові події в системних моделях і функціональних дерев відмов (ФДВ)

8. Інтеграція імовірнісних моделей. В розділі описана інтеграція імовірнісних моделей для номінального рівня потужності, для зниженого рівня потужності, моделей внутрішньоблокових пожеж і внутрішньоблокових затоплень.

9. Кількісна оцінка та аналіз результатів. У розділі наводиться слідуєча інформація:

- результати кількісної оцінки ЧПАЗ ІАБ 1 рівня енергоблоку АЕС;
- аналіз отриманих результатів ЧПАЗ ІАБ 1 рівня енергоблоку АЕС.

Кількісна оцінка ймовірнісної моделі - це завершальний етап ІАБ. Зазвичай виконується попередня і фінальна кількісна оцінка. При попередній оцінці проводиться налагодження загальної ймовірнісної моделі енергоблоку, ідентифікуються найбільші вкладники в ЧПАЗ. Після уточнення ймовірнісної моделі проводиться фінальна кількісна оцінка. Остаточна оцінка, крім оцінки сумарної ЧПАЗ, включає аналіз спектра ВПА, аналіз невизначеності, значущості та чутливості по відношенню до ряду припущень і вихідних даних.

3. Перегляд ІАБ в складі ЗППБ

Основними завданнями імовірнісного аналізу безпеки в складі ЗППБ являються [7]:

- Визначення того, що існуючі ймовірні оцінки безпеки коректно враховують як проектні характеристики споруд, систем та елементів енергоблоку, так і зміни, що розглядаються в аналізі;

- Демонстрація того, що виявлені в результаті імовірнісних аналізів недоліки враховані в реалізованих або підлягають реалізації в заходах, спрямованих на підвищення безпеки енергоблоку;

- Визначення того, що результати імовірнісних оцінок безпеки враховані при формуванні керівництва по управлінню запроектованими аваріями;

- Порівняння отриманих результатів ІАБ з критеріями безпеки, прийнятими в діючих нормативних документах.

В основному при розробці й перегляді ІАБ застосовується метод експертної оцінки на основі порівняльного аналізу за якісними критеріями і критеріальна оцінка за кількісними імовірнісними показниками безпеки (ЧПАЗ, ЧПАВ).

АЕС відповідає вимогам безпеки, якщо в результаті вжитих в проекті

технічних і організаційних заходів досягнута базова мета безпеки. Критеріями безпеки для діючих енергоблоків АЕС являються:

- неперевищення оцінного значення частоти важкого пошкодження активної зони, рівного 10^{-4} на реактор в рік. Необхідно прагнути до того, щоб оцінне значення частоти такого пошкодження не перевищувало 10^{-5} на реактор в рік;

- неперевищення значення частоти граничного аварійного викиду радіоактивних речовин в навколишнє середовище для діючих блоків АС встановлюється на рівні не більше 10^{-5} на реактор в рік. При цьому, слід прагнути до досягнення показника не більше 10^{-6} на реактор в рік.

Відповідно до цих вимог перегляд ІАБ проводиться після ряду наступних змін або нововведень [8]:

- зміна проекту внаслідок модернізації;
- зміна природних і техногенних характеристик району розташування АЕС;
- удосконалення регулюючих вимог з безпеки АЕС;
- удосконалення методології аналізу безпеки АЕС, включаючи аналіз проектних і запроектних аварій;
- появою нових науково-технічних даних.

Для перегляду і детального аналізу ІАБ 1 рівня використовують послідовний підхід. Як правило, він зазвичай включає в себе наступні завдання:

- 1) збір інформації про станцію і майданчик, супроводжуваний, коли це можливо, обходами станції;
- 2) визначення характеристик небезпек: ідентифікація небезпек, розрахунок частоти виникнення небезпек і аналіз впливу небезпек;
- 3) інтеграція ІАБ 1 рівня для внутрішніх небезпек з ІАБ 1 рівня для внутрішніх вихідних подій: визначення вихідних подій, що викликаються впливом внутрішніх небезпек;
- 4) ідентифікація необхідних змін в існуючих деревах подій і деревах відмов ІАБ рівня 1 для внутрішніх вихідних подій;
- 5) аналіз конкретних залежностей і відмов із загальної причини;
- 6) зміна моделей ІАБ для того, щоб вони забезпечували розрахунок ризиків, ближче відповідний фактичній конфігурації станції. Розроблювана модель ІАБ повинна бути також сумісна з програмним забезпеченням, використовуваним для монітора ризику;
- 7) аналіз конкретних аспектів надійності оператора;
- 9) квантифікація вкладу внутрішніх небезпек в частоту пошкодження активної зони (аналіз результатів, дослідження чутливості, аналіз невизначеностей і значущості).
- 10) документація (з конкретним розглядом використаних в процесі аналізу припущень і посилай, включаючи забезпечення якості).

При перегляді ІАБ слід враховувати зміни в проекті та експлуатації станції, що з'являються, нову технічну інформацію і більш складні методи та інструментальні засоби, а також нові дані для конкретної станції, отримані в результаті експлуатації станції, наприклад, дані, що використовуються при оцінці частот виникнення вихідних подій або ймовірностей відмов елементів. Оновлення ІАБ слід організувати в рамках точного певного процесу, і слід регулярно розглядати статус ІАБ, з тим щоб забезпечувати його актуальність як представницької моделі станції і його відповідність поставленим цілям.

Результати ВАБ 1 рівня слід використовувати для забезпечення підходу

до визначення наступного [8]:

- 1) чи мають системи безпеки достатні рівні різноманітності і резервування;
- 2) чи є достатні рівні атестації обладнання для конструкцій, систем і елементів, що працюють в жорстких умовах при аваріях;
- 3) чи є достатній поділ і ізоляція зон на випадок таких небезпек, як пожежа і повінь;
- 4) оформлення інтерфейсу «людина-машина» є достатнім для забезпечення того, що ймовірність помилки оператора була зведена до досить низького рівня.

4. Короткий аналіз імовірнісного аналізу безпеки

Імовірнісні аналізи безпеки АЕС представляє собою сучасний рівень науки і техніки, і нормативні документи (НД) атомної енергетики більшості країн вимагають їх виконання. Згідно з національними НД, ІАБ є однією з основних складових частин Звіту з безпеки. Зазначений нормативний документ вимагає проведення ІАБ для енергоблоків АС не менше одного разу на 10 років. Десять років (виходячи з міжнародного досвіду) представляються відповідним інтервалом для проведення подібних переглядів, з огляду на існуючу ймовірності того, що протягом цього періоду можуть відбутися зміни в національних і міжнародних нормах безпеки, практиці експлуатації, технології, наукових знаннях, на яких вона ґрунтується, або аналітичних методах; з'явиться потенційна можливість того, що сукупні наслідки модифікацій будуть несприятливо впливати на безпеку або на доступність і придатність документації з безпеки; буде накопичено відповідний досвід експлуатації; відбудуться зміни в рівні укомплектування або досвіду персоналу.

Збільшення інтервалу між ЗППБ на строк понад десять років може викликати затримку виявлення важливих проблем безпеки і може привести до втрати безпосередніх знань і досвіду, отриманих в ході попередніх ПРБ, і до порушення наступності.

Однак число «10» крім як опора на міжнародний досвід, нічим не обґрунтоване. Зокрема, наприклад, незабаром після створення ЗППБ була проведена якась модернізація на енергоблоці, що вносить невизначеність в результати ЗППБ. Очікування протягом десяти років до наступної перевірки може викликати проблеми з безпекою АЕС. Тому необхідно уточнити регулючі вимоги щодо необхідної періодичності створення ЗППБ.

Головним призначенням моделі ІАБ є оцінка можливих сценаріїв (послідовностей подій), які можуть призвести до небажаних наслідків - пошкодження активної зони. Однак немає гарантії, що цей процес завжди буде повним і що всі можливі сценарії виявлено та оцінено. Цей недолік повноти призводить до невизначеності в результатах і в висновках, які важко проаналізувати або визначити кількісно. Зокрема, найважливішим елементом ІАБ є аналіз надійності персоналу. Досвід ядерної енергетики свідчить про те, що помилки персоналу істотно впливають на ймовірність виникнення аварійних ситуацій на АЕС. Тому проблемі помилок персоналу слід приділяти не меншу увагу, ніж аналізу аварійних ситуацій з відмовами обладнання.

Моделювання поведінки людини є найбільш складним при проведенні ІАБ. У міру зростання автоматизації та вдосконалення взаємодії людина - машина внесок персоналу в частоту пошкодження активної зони зменшується, хоча і залишається істотним. У звітах з аналізу безпеки українських АЕС наводяться

дані про величину людського фактора в інцидентах і порушеннях, що становлять 25% і повторюваних протягом останніх років. При цьому встановлено, що в 73% цих порушень позначається негативна роль несприятливих психологічних якостей людини. Вивчення специфіки праці різного роду фахівців в енергетиці показало, що праця оператора АЕС відноситься до діяльності з високим психологічним навантаженням. Удавана монотонність обстановки, повільна зміна показань приладів призводить до розладу свідомості, зростання напруженості і втрати пильності. Існує специфіка проблеми підвищення надійності роботи людини в умовах АЕС, тому що це умови підвищеного ризику. Особливе значення має висока відповідальність за кожне рішення, необхідно в кожний момент мати повне уявлення про стан технологічного процесу управління і бути готовим до точних і своєчасних дій [9].

Зазвичай ІАБ враховує лише прості помилки, пов'язані з невиконанням процедур. Більш складні помилки, число яких вважається практично необмеженим, дуже складно промодельовувати і оцінити кількісно. Проте додатковий облік виконавських помилок, який був проведений в останні роки французьким ІАБ, дає високий внесок помилок персоналу в цільовий показник безпеки - до 80%.

Висновки

1. На підставі аналізу нормативних документів, методичних видань і ЗППБ встановлені основні принципи і кроки внесення змін до ІАБ, пов'язані з різними модифікаціями аналізованого енергоблоку АЕС.

2. Попередній аналіз ІАБ, виконуваного в рамках ЗППБ, виявив ряд питань, які потребують більш глибокого вивчення, наприклад, періодичність створення ЗППБ, оцінка невизначеності моделей аварійних послідовностей через обмежений (кінцевий) набір можливих сценаріїв (які потенційно не охоплюють всі можливі шляхи протікання аварії), велика залежність результатів ІАБ від коректності оцінки ймовірності помилкових дій персоналу (наприклад, ВОП оцінюється тільки по виконанню процедур і не враховує інші виконавчі помилки, такі як помилкові активні дії).

3. На основі проведеного аналізу встановлено необхідність вдосконалення процедури ІАБ для ЗППБ, щоб підвищити безпеку експлуатації АЕС.

Перелік посилань

1. Вероятностный анализ безопасности атомных станций (ВАБ): Учебное пособие / В. В. Бегун, О. В. Горбунов, I. М. Каденко и др. - К., 2000. - 568 с.
2. Острейковский В. А., Швыряев Ю. В. Безопасность атомных станций. Вероятностный анализ. – М.:ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 352 с.
3. Наказ «Про затвердження Загальних вимог до продовження експлуатації енергоблоків АЕС у понадпроектний строк за результатами здійснення періодичної переоцінки безпеки» // Державний комітет ядерного регулювання України. - 2004. - №181.
4. Запорожская АЭС. Проект углубленного анализа безопасности энергоблока №5 Запорожской АЭС. Заключительный отчет по вероятностному анализу безопасности первого уровня. 10058DL12R. 2001.

5. Южно-Украинская АЭС. Энергоблок №1. Отчет по периодической переоценке безопасности. Фактор безопасности №6. Вероятностный анализ безопасности. Книга 1. Вероятностный анализ безопасности. ЕР03-2009.722.ОД.2.
6. Комаров Ю. А. Развитие риск-ориентированных подходов для повышения безопасности и эффективности эксплуатации атомных электростанций : монография / Под ред. В. И. Скалозубова; НАН Украины, Ин-т проблем безопасности АЭС. – Чернобыль (Киев. обл.) : Ин-т проблем безопасности АЭС, 2014. – 288 с.
7. Разработка и применение вероятностной оценки безопасности уровня 1 для атомных электростанций. Специальное руководство по безопасности № SSG-3. Нормы МАГАТЭ по безопасности.
8. Периодическое рассмотрение безопасности атомных электростанций. Специальное руководство по безопасности № SSG-25. Нормы МАГАТЭ по безопасности.
9. Здановский В. Г. Вероятностный анализ безопасности АЭС // Проблеми охорони праці в Україні. – К: ДУ «ННДПБООП», 2014. – Вип. 27. – С. 72-84.
10. Скалозубов В. І., Білей Д. В., Габлая Т. В., Комаров Ю. О., Ключніков О. О., Фольтов І. М. Розвиток і оптимізація систем контролю АЕС з ВВЕР. – Чернобыль, 2008. 425-437с.
11. IAEA Safety Series 50-P-4, “Procedures for Conducting Probabilistic Safety Assessments of Nuclear Power Plants (Level 1)”