

Література

1. Химия ферроцианидов [Текст] / И.В.Тананаев, Г.Б.Сейфер, Ю.Я.Кузнецов, А.П.Корольков. – М.: Наука, 1971. – 320 с.
2. Радовенчик Я.В. Обезвоживание осадков ферроцианидов железа [Текст] / Я.В. Радовенчик, В.С. Котлярова // Энерготехнологии и ресурсосбережение. - 2011. - №5. – С. 32 – 35.

Розглянуто проблеми практичної реалізації кваліфікаційних випробувань обладнання АЕС України. Запропоновано методологічну базу для організації випробувань, що відповідає національній нормативній базі та враховує світовий досвід кваліфікації
Ключові слова: АЕС, кваліфікація обладнання, випробування

Рассмотрены проблемы практической реализации квалификационных испытаний оборудования АЭС Украины. Предложена методологическая база для организации испытаний, которая соответствует национальной нормативной базе и учитывает мировой опыт квалификации

Ключевые слова: АЭС, квалификация оборудования, испытания

The problems of practical implementation of proficiency testing equipment plant in Ukraine are considered. A methodological framework for organizing tests, consistent with national regulatory framework and takes into account international experience qualifications is suggested

Keywords: NPP, equipment qualification, test

УДК 621.384.6

ОСОБЛИВОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ КВАЛІФІКАЦІЙНИХ ВИПРОБУВАНЬ ОБЛАДНАННЯ АЕС УКРАЇНИ

О.В. Сахно

Кандидат технічних наук, асистент*

Контактний тел.: 067-877-33-09

E-mail: sakhno@npp-osi.kiev.ua

В.В. Шульга

Магістрант

*Кафедра атомних електростанцій та інженерної теплофізики

Національний технічний університет України «КПІ»

пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056

Контактний тел.: 093-262-18-69, 099-646-08-54

E-mail: sh-vika@ukr.net

1. Вступ

Безпека енергоблоку на АЕС визначається, в першу чергу, надійністю і працездатністю обладнання систем безпеки [1], [2]. Відомо безліч різних процедур, які використовуються на АЕС для підтвердження його працездатності (періодичні випробування і заміна, контроль стану елементів систем, важливих для безпеки (СВБ), управління старінням тощо). Використання в рамках одного блоку всіх цих процедур з урахуванням їх взаємозв'язку - дуже тривалий, громіздкий і технічно складний процес, спростити який можна введенням єдиної системи кваліфікації технологічного обладнання.

Кваліфікація обладнання (далі - КО) - підтвердження і підтримання показників і технічних характеристик обладнання з метою забезпечення його працездатності в «жорстких» умовах навколишнього середовища та/або при сейсмічних впливах. Обладнання, кваліфікація якого встановлена, має гарантовано виконувати покладені на нього функції безпеки

у встановлених проектом обсягах з урахуванням можливих у районі майданчика АЕС впливів природних явищ, зовнішніх техногенних впливів, а також теплових, механічних, хімічних та інших впливів, які виникають в результаті проектних аварій [3].

Необхідність проведення КО регламентовано українською нормативною базою як один з найважливіших напрямів діяльності щодо забезпечення необхідного рівня безпеки енергоблоків АЕС [1], [2], [4].

У процесі кваліфікації паспортні характеристики для кожної конкретної одиниці обладнання порівнюються з кваліфікаційними вимогами, тобто умовами експлуатації даного обладнання на АЕС [5]. У разі невідповідності обладнання вважається некваліфікованим, і для гарантії безпечної роботи АЕС підлягає заміні.

Однак кваліфікація може бути не встановлена з причин, не пов'язаних з характеристиками обладнання. Тобто, обладнання також вважається не кваліфікованим у разі, якщо:

- відсутня технічна документація;
- недостатньо даних про кваліфікаційні характеристики;
- кваліфікаційні характеристики обладнання обмежені використанням певних матеріалів для окремих компонентів.

Недостатня для встановлення кваліфікаційного статусу інформація може бути отримана шляхом виконання додаткових заходів з підвищення кваліфікації, що є економічно обґрунтованою альтернативою заміні обладнання [6]. Заходи з підвищення КО на АЕС можуть бути реалізовані такими методами, як [5]:

- випробування;
- аналіз;
- досвід експлуатації;
- комбінація цих методів.

В роботі розглядаються особливості практичної реалізації заходів з підвищення кваліфікації методом випробування.

2. Постановка задачі

Для України задача КО являється відносно новою. На сьогоднішній день ще не напрацьовано достатньо матеріалів для використання їх в якості практичних керівництв при реалізації заходів з КО (зокрема, проведення кваліфікаційних випробувань). При цьому, обладнання енергоблоків АЕС, що підлягає кваліфікації, представлене в широкому номенклатурному діапазоні. Відповідно, методи випробувань обладнання різних типів, категорій, функцій і т.д., можуть значно відрізнятися.

Порядок виконання робіт з кваліфікації обладнання методом випробувань регламентовано галузевими стандартами [5], [6]. Існують також документи МАГАТЕ, що описують методи проведення КО, прийняті в світовій практиці [7], [8], та внутрішні стандарти держав з розвиненою атомною енергетикою [13], [14]. Крім того, деякі аспекти, що стосуються проведення кваліфікаційних випробувань, можна знайти в публікаціях західних авторів [10], [11].

Однак, при практичній організації кваліфікаційних випробувань виникає низка складнощів з використанням існуючих джерел інформації в якості керівництв. Основними з них є:

- національні галузеві стандарти є загальними і не містять детальних вказівок;
- документи МАГАТЕ носять рекомендаційний характер і також містять лише загальні положення;
- стандарти інших держав є внутрішніми стандартами і можуть вступати в протиріччя з українською нормативною базою;
- в наукових публікаціях, зазвичай, висвітлюються лише деякі аспекти окремих вузькопрофільних задач.

Виходячи з вищезазначеного, завданням цієї роботи є створення на основі існуючих матеріалів методик підвищення КО для різних типів обладнання АЕС, які повинні включати детальні процедури проведення випробувань і відповідати нормативній базі України.

На першому етапі, виходячи з вимог української нормативної бази та рекомендацій МАГАТЕ,

розробляється загальна методологія проведення кваліфікації методом випробування із зазначенням послідовності, об'єму випробувань і критеріїв прийнятності стосовно українських АЕС.

На другому етапі проводиться аналіз відмінностей між різними типами обладнання, визначаються особливості проведення випробувань для даного типу обладнання з урахуванням інформації з наукових публікацій, наявних даних про фізико-хімічні властивості обладнання, результатів проведених раніше випробувань та інше [10], [11], [15]. Виходячи з цих даних, деталізуються процедури окремих випробувань для різних типів обладнання.

На третьому етапі проводиться перевірка повноти та коректності розроблених процедур шляхом організації та проведення за розробленими процедурами кваліфікаційних випробувань обладнання пілотних енергоблоків АЕС України.

3. Загальна методологія підвищення КО методом випробувань

Кваліфікація обладнання методом випробувань полягає в обґрунтуванні стійкості обладнання до впливу «жорстких» умов навколишнього середовища з урахуванням старіння. Тобто, кваліфікаційне випробування має продемонструвати відповідність (або перевищення) характеристик обладнання тим вимогам, які висуваються до нього при експлуатації АЕС. Відповідно, кваліфікаційні випробування мають включати дві складові:

1. Моделювання умов експлуатації. При цьому, виходячи з самого значення терміну «кваліфікація», необхідно виконати моделювання як умов нормальної експлуатації обладнання, так і постульованих аварійних умов [3].
2. Безпосередня перевірка працездатності обладнання у змодельованих умовах.

Моделювання умов нормальної експлуатації

Моделювання умов експлуатації обладнання полягає у проведенні низки випробувань на прискорене старіння, метою яких є відтворення на випробуваних зразках природного старіння даного обладнання за запланований (проектний) строк служби на АЕС.

Правильне проведення прискореного старіння визначається точним знанням факторів, що впливають на обладнання. Дослідження показали [9], що серед усіх факторів, які можуть призвести (викликати) старіння обладнання в процесі експлуатації на АЕС, найбільш значимими є: температура, іонізуюче випромінювання і знос при експлуатації обладнання. Тому в світовій практиці, при проведенні кваліфікаційних випробувань, прийнято враховувати тільки ці фактори старіння [7].

Істотним чинником, що викликає деградацію обладнання, а також прискорює ефекти старіння інших механізмів, є підвищена вологість. Однак, загальноприйнятої моделі прискорення впливу цього фактора не існує, тому вплив вологості при моделюванні умов нормальної експлуатації не розглядається [5]. На практиці вплив вологості враховують при проектуванні обладнання та збереженні кваліфікації, звичайно за допомогою пом'якшення

її впливу (наприклад, вологостійке проектування, нагрівачі тощо).

Крім того, слід враховувати, що одночасний вплив факторів старіння викликає синергетичні ефекти. Взаємодія факторів старіння може як прискорити, так і сповільнити швидкість деградації обладнання. Наявність і рід взаємодії між факторами старіння визначається з досвіду експлуатації та знання діючих механізмів деградації

Головною проблемою при моделюванні умов нормальної експлуатації є технічні характеристики дослідного устаткування для прискореного відтворення факторів старіння (габаритні розміри, особливості експлуатації та контролю, тощо). Ці особливості обмежують можливості випробувальних лабораторій у дослідженні динаміки деградації обладнання АЕС під одночасним впливом факторів старіння. У зв'язку з цим, МАГАТЕ рекомендує проводити моделювання умов нормальної експлуатації шляхом виконання серії послідовних випробувань, кожне з яких відтворює вплив окремого фактору старіння.

У серію випробувань на прискорене старіння, як правило, включають такі основні випробування [3]:

1. прискорене термічне старіння (основний фактор старіння - температура і її зміна в часі);
2. прискорене радіаційне старіння;
3. прискорене експлуатаційне старіння (знос механічних частин при тривалій роботі).

Випробування на вплив вібрації і корозійно-активних речовин, як правило, поєднуються з випробуваннями устаткування на сейсмостійкість і випробуваннями в аварійних умовах відповідно.

Моделювання аварійних умов

На відміну від випробувань на старіння, які відбуваються з фактором прискорення, при моделюванні аварійних умов важливо точно відтворити профіль зміни в часі усіх факторів впливу, оскільки різка зміна значень факторів впливу може призвести до раптової відмови обладнання.

Відтворення термодинамічного профілю аварії в лабораторних умовах реалізується за допомогою так званих LOCA-камер (LOCA – Loss-of-Coolant Accident, максимальна проектна аварія с течією теплоносія 1-ого контуру АЕС) [6]. LOCA-камера дозволяє моделювати одночасну дію температури та тиску при аварії, враховуючи хімічний склад середовища.

Параметр радіаційного опромінення моделюється окремо. Характер (профіль) зміни даного параметру не є критичною величиною, важливо тільки значення сумарної отриманої дози за аварійний період. Тому його окреме моделювання не впливає на достовірність результатів випробування.

Випробування відбувається в два етапи:

- аварійна фаза, що супроводжується швидкою зміною параметрів навколишнього середовища, зрощенням хімічними розчинами;
- поставарійна фаза, протягом якої відбувається плавна зміна параметрів навколишнього середовища від аварійних до нормальних значень.

Тривалість обох фаз аварійних умов при моделюванні визначається розрахованими параметрами постульованих аварійних подій на АЕС (даними Звіту з аналізу проектних аварій та іншої проектно-експлуатаційної документації).

Контроль працездатності обладнання

Оцінка працездатного стану зразків обладнання протягом процесу кваліфікації методом випробувань проводиться за результатами функціональних випробувань. При цьому, контроль працездатності (функціональні випробування) має проводитись на всіх етапах моделювання умов його експлуатації.

Обсяг функціональних випробувань встановлюється в залежності від типу обладнання і вимог стандартів (технічних умов) до перевірки його працездатності, таким чином, щоб забезпечити можливість перевірки відповідності характеристик обладнання встановленим критеріям прийнятності. Отримані результати повинні бути оцінені на відповідність встановленим критеріям прийнятності до початку наступних випробувань. Успішне завершення фінальних функціональних випробувань (відповідність контрольованих параметрів критеріям прийнятності) свідчить про те, що обладнання пройшло кваліфікацію.

Необхідною складовою оцінки працездатності обладнання при випробуваннях є його візуальний огляд.

Початковий візуальний огляд проводиться для того, щоб переконатися, що випробувальний зразок не був пошкоджений при виготовленні або в результаті неправильного поводження, а також, щоб перевірити його відповідність технічним умовам [5]. Проведення візуальних оглядів зразків у процесі випробувань, проводиться для контролю їх задовільного стану, відсутності деградації чи інших пошкоджень, які можуть перешкоджати проведенню наступних випробувань і успішному встановленню кваліфікаційного статусу.

4. Аналітичні моделі механізмів старіння

При розробці детальних процедур проведення випробувань на прискорене старіння необхідно забезпечити як можна більш точне відтворення величини природного старіння обладнання при його експлуатації на АЕС. Це досягається шляхом побудови адекватних аналітичних моделей для відповідних механізмів старіння.

Модель термічного старіння

Дане випробування полягає в тому, що обладнання протягом заздалегідь визначеного періоду часу піддається впливу температур, вищих, ніж ті які існують при нормальній експлуатації, але досить низькі, щоб не пошкодити зразки.

Стандартизованою моделлю для оцінки температурно-часових ефектів старіння є модель Арреніуса [6]. Ключове припущення моделі полягає в тому, що термічна деградація матеріалу викликана єдиною домінуючою хімічною реакцією. Фактор прискорення залежить від параметра енергії активації, який є характеристикою матеріалу або матеріалів, з яких виготовлено зразок.:

$$R = C e^{-\frac{\phi}{kT}} \quad (1)$$

де:

- C - частота зіткнень реагуючих молекул,
- k - універсальна газова константа,

ϕ - енергія активації матеріалу,
 T - абсолютна температура.

На практиці, для визначення параметрів прискороного термічного старіння використовується наступне формулювання:

$$\frac{t_s}{t_a} = e^{\left(\frac{\phi}{k}\right)\left(\frac{1}{T_s} - \frac{1}{T_a}\right)} \quad (2)$$

де:

t_s - модельований термін експлуатації,

t_a - час проведення випробувань,

T_s - температура навколишнього середовища при експлуатації,

T_a - температура випробувань.

При оцінці прискороного термічного старіння повинні враховуватися наступні положення:

- домінуючою хімічною реакцією, що призводить до деградації полімерів від температури, є окислення [13];
- посилена циркуляція повітря веде до інтенсифікації теплообміну між обладнанням і навколишнім середовищем і зниження внутрішніх температур обладнання [14];
- при оцінці старіння необхідно враховувати суттєве зростання внутрішньої температури внаслідок ефекту самонагріву обладнання (наприклад, під напругою);
- розрахунок термічного старіння компонентів (матеріалів) обладнання повинен ґрунтуватися на температурах критичних компонентів (найбільш схильних до старіння) під напругою і температурах нормальної експлуатації.

Для випробувань на прискороене термічне старіння устаткування можуть бути використані закони старіння, відмінні від закону Арреніуса, при цьому їх придатність повинна бути обґрунтована і базуватися на вимогах чинної нормативно-технічної документації.

Модель радіаційного старіння

Прискороене радіаційне старіння засноване на припущенні «рівна доза / рівне пошкодження». У цьому наближенні ефект від опромінення матеріалів обладнання приймається як залежний тільки від поглиненої дози и практично не залежний від потужності дози або типу випромінювання [15].

Випробування на прискороене радіаційне старіння необхідно проводити в тому випадку, якщо радіаційна доза в процесі нормальної експлуатації перевищує радіаційний поріг обладнання та суттєво впливає на нього. Радіаційний поріг - це мінімальна доза, яка викликає постійні зміни фізичних властивостей матеріалу. Для більшості матеріалів радіаційний поріг більше або дорівнює 100 Гр. Однак для обладнання, що містить електронні компоненти, враховуються навіть менші дози [16].

Модель «рівної дози / рівного пошкодження» може бути неприйнятною по точності для певних матеріалів в певних конфігураціях через наявність ефекту потужності дози. Тобто, при відносно великій щільності матеріали пошкоджуються значно менше при отриманні тієї ж дози з більшою потужністю дози [19]. Ефект потужності дози проявляється в матеріалах, для яких деградація окислення є домінуючою,

і рівень дифузії кисню в прискороених випробуваннях недостатній для підтримки реакції окислення, яка відбуватиметься в матеріалі в процесі природного старіння. Ефект залежить від щільності матеріалу, області застосування и температури (оскільки дифузія експоненційно залежить від температури).

Ефект потужності дози не виникає, якщо потужність дози при випробуваннях не перевищує 1 кГр/год [20]. Тому для цілей кваліфікації припущення «рівна доза / рівне ушкодження» використовується з урахуванням обмеження фактора прискороення. На практиці моделювання радіаційного старіння зазвичай проводиться при потужності дози 5 ÷ 10 кГр/год на установках з використанням ^{60}Co в якості джерела випромінювання [15].

При проведенні випробувань на прискороене радіаційне старіння необхідно також враховувати такі положення:

- - необхідно забезпечити прийнятний рівень рівномірності поля випромінювання, щоб гарантувати, що різні частини обладнання піддаються однакової дозі опромінення;
- - так само, як і у випадку термічного старіння, тип навколишнього середовища (вакуум, азот, кисень або повітря) при радіаційному впливі буде впливати на тип і величину деградації.

Модель експлуатаційного старіння

Випробування на прискороене експлуатаційне старіння полягають у напруженні обладнання певної кількості експлуатаційних циклів (наприклад, пуск-зупинка або включення-відключення) в прискороеному режимі, таким чином, щоб число циклів при проведенні випробувань відповідало очікуваній кількості циклів за час експлуатації обладнання на АЕС.

Прискороення циклічних навантажень при випробуваннях може призвести до виникнення потенційної перенапруги в елементах обладнання та, відповідно, до його відмови [12]. Тому при плануванні та проведенні випробувань на прискороене експлуатаційне старіння необхідно обмежувати фактор прискороення.

При проведенні випробувань на експлуатаційне старіння необхідно також враховувати вимоги до технічного обслуговування і ремонту устаткування (наприклад, заміну окремих компонентів протягом терміну експлуатації обладнання). Якщо такі компоненти існують, то вони підлягають заміні після певної кількості циклів або годин експлуатації в процесі випробувань на експлуатаційне старіння.

5. Процедури проведення кваліфікаційних випробувань

Для практичного застосування даної методології було вибрано обладнання, що містить компоненти, найбільш схильні до деградації внаслідок старіння, тобто електричні компоненти і ізоляційні матеріали. З переліку обладнання АЕС, що підлягає кваліфікації, для проведення кваліфікаційних випробувань були вибрані зразки електротехнічного обладнання (контрольний кабель типу КВВГнг), та обладнання інформаційно-керуючих систем (перетворювач тиску типу «Сапфир»).

Параметри прискореного старіння були розраховані на підставі даних про режими і умови експлуатації такого обладнання на АЕС України. Для моделювання аварійних умов використовувалися дані звітів з аналізу безпеки (АПА) АЕС. Виходячи з визначених параметрів, по представленим вище моделям були розроблені детальні процедури моделювання.

Кваліфікаційний запас

Поряд з тим, що термічне, радіаційне та експлуатаційне старіння є причиною виникнення механізмів деградації устаткування, в реальності вони впливають одночасно, викликаючи синергетичні ефекти (вплив від їх одночасного впливу більше, ніж їх сумарний вплив). З практичних міркувань випробування на прискорений вплив цих параметрів проводяться окремо, тому проведення випробувань має бути досить консервативним для урахування реальної ситуації. З цього випливає, що моделювання умов експлуатації необхідно проводити з урахуванням зазначеного консерватизму. Для цього в практику кваліфікаційних випробувань введено термін «кваліфікаційний запас». Кваліфікаційний запас - це різниця між найбільш жорсткими функціональними і зовнішніми умовами, можливими на АЕС, та умовами проведення кваліфікації [6]. Кваліфікаційний запас повинен встановлюватися з урахуванням можливих відхилень параметрів від номінальних значень при нормальній роботі обладнання, та похибок у визначенні умов експлуатації і критеріїв прийнятності (працездатності).

Дослідження величин кваліфікаційного запасу для окремих випробувань проводились низкою авторів [10], [11], [12]. Виходячи з результатів цих досліджень, приймаються такі мінімальні коефіцієнти запасу:

1. Моделювання умов нормальної експлуатації:
 - тривалість термічного старіння +10%;
 - тривалість радіаційного старіння +10%;
 - кількість циклів експлуатаційного навантаження +10%.
2. Моделювання аварійних умов:
 - профіль тиску при аварії +10%;
 - профіль температур при аварії +8°C;
 - період часу, протягом якого потрібно функціонування обладнання після початку аварії +10%.

Коефіцієнти кваліфікаційного запасу включають в значення розрахованих параметрів відповідних випробувань на етапі розробки детальних процедур їх проведення.

Критерії прийнятності

Для перевірки працездатності було проаналізовано дані розробника обладнання (конструкція, технічні умови, інструкція з експлуатації, тощо) і на їх основі розроблено критерії прийнятності даних типів обладнання.

Для перетворювача тиску критерії прийнятності включають визначення та перевірку таких параметрів, як [22]:

- верхній і нижній краї діапазону, інтервал вимірювання;
- основна похибка і варіації вихідного сигналу;
- пробивна міцність та електричний опір ізоляції;
- працездатність при зміні напруги живлення;
- працездатність при виході за межі діапазону;

- міцність та герметичність.

Для кабелю критерії прийнятності включають [23]:

- пробивна міцність ізоляції оболонки та окремих жил;
- механічні властивості матеріалів ізоляції оболонки та жил;
- електричний опір та ємність ізоляції.

Перелік цих критеріїв дозволяє контролювати всі механізми деградації, які можуть відбуватися на зазначеному обладнанні. Виконання критеріїв прийнятності свідчить про збереження працездатності обладнання за контрольований період експлуатації, включно з поступованими аварійними подіями.

Послідовність проведення випробувань

Відповідно до розглянутих вище методичних положень, та враховуючи функції безпеки вибраного обладнання на АЕС, було розроблено детальні процедури проведення кваліфікаційних випробувань [22], [23]. Вони проводяться в наступній послідовності:

3. Перетворювач тиску типу «Сапфир» [22]:

- початковий візуальний огляд;
- початкові функціональні випробування (в повному обсязі);
- прискорене термічне старіння;
- проміжні функціональні випробування (тільки вимір похибки і гістерезису);
- експлуатаційне старіння (механічне навантаження);
- проміжні функціональні випробування (в повному обсязі);
- калібрування (настроювання нуля і діапазону);
- моделювання аварійних умов типу ВП-1 (HELБ), включаючи перевірку працездатності перетворювача в цих умовах;
- заключні функціональні випробування (в повному обсязі);
- заключний візуальний огляд.

Контрольний кабель типу КВВГнг [23]:

- початковий візуальний огляд;
- початкові функціональні випробування (в повному обсязі – пробивна міцність, ізоляційний опір, випробування на розтяг);
- прискорене термічне старіння;
- прискорене радіаційне старіння;
- проміжні функціональні випробування (в повному обсязі);
- опромінення аварійної дозою;
- моделювання аварійних умов типу ВП-2 (ЛОСА), включаючи перевірку працездатності кабелю в цих умовах (тобто навантаження кабелю робочою напругою, вимірювання електричного опору і ємності);
- перевірка механічних властивостей перемотуванням на барабан;
- прикінцеві функціональні випробування (в повному обсязі плюс визначення електричної ємності);
- заключний візуальний огляд.

Параметри окремих випробувань, зазначених вище, уточнюються безпосередньо в лабораторії після початкового візуального огляду і детального вимірювання характеристик зразків (товщини ізоляції, матеріали і т.п.).

Висновки

Розроблені процедури дозволяють створити детальні інструкції для випробувальних лабораторій. В разі необхідності проведення кваліфікаційних випробувань типів обладнання, відмінного від описаних,

відмінність буде полягати лише в методах перевірки його працездатності. Для цього необхідно розробити критерії прийнятності окремих типів обладнання, що експлуатується на діючих АЕС України та підлягає кваліфікації методом випробувань.

Література

1. НП 306.2.141–2008. Загальні положення безпеки атомних станцій.
2. НП 306.2.099–2004. Загальні вимоги до продовження експлуатації енергоблоків АЕС у понадпроектний строк за результатами здійснення періодичної переоцінки безпеки.
3. ПМ-Д.0.03.476–09. Програма работ по квалификации оборудования АЭС ГП НАЭК «Энергоатом».
4. Закон України “Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку” 1995 р.
5. СТП 0.03.050–2009. Квалификация оборудования и технических устройств АЭС. Общие требования.
6. СТП 0.03.083–2009. Квалификация оборудования на условия окружающей среды. Общие требования.
7. IAEA Equipment qualification in operational nuclear power plants: upgrading, preserving and reviewing – Safety Reports – 1998 – Series No 3.
8. IAEA Periodic Safety Review of Nuclear Power Plants – Safety Standards – 2003 – Series No NS-G-2.10.
9. EPRI Final Report NP-1558. A Review of Equipment Aging Theory and Technology, 1980.
10. Clough R.I. et. Accelerated –Aging Tests for Predicting Radiation Degradation of Organic Materials Nuclear Safety – Vol.25, No.2 –March-April – 1984 – p.238.
11. Williams J.L., A. Zanona and A.R. Lee Accelerated Aging Tests of 69-kV Cross-Linked Polyethylene Cable and Joints IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems – PAS-88(2) – February – 1969 – p.p. 157-170.
12. EPRI TR-100516. Nuclear Power Plant - Equipment Qualification Reference Manual, 1992.
13. NUREG/GR-4301. Status Report on Equipment Qualification Issues Research and Resolution, 1986.
14. NUREG/GR-5141. Aging and Qualification Research on Solenoid Operated Valves, 1988.
15. EPRI Final Report NP-2129. Radiation Effects on Organic Materials in Nuclear Plants, 1981.
16. EPRI Final Report NP-1558. A Review of Equipment Aging Theory and Technology, 1980.
17. IEEE Standard 627-1980. Design Qualification of Safety Systems Equipment Used in Nuclear Generating Stations, 1980.
18. IEEE Standard 323-2003. Standard for Qualifying Class 1E Electric Equipment for Nuclear Power Generating Stations, 2003.
19. Atomic Energy Research Establishment (AERE) Report 13746. Time Temperature Dose-Rate Superposition Behavior in Irradiated Polymers, 1990.
20. NUREG/GR-2157. Occurrence and Implications of Radiation Dose-Rate Effects for Materials Aging Studies, 1981.
21. ДСТУ ІЕС 60780:2007. Атомні електростанції. Обладнання систем безпеки електричне. Кваліфікація.
22. ДІТІ 305/175 Методика проведення кваліфікаційних испытаний преобразователей давления типа САПФИР-22 на «жесткие» условия окружающей среды.
23. ДІТІ 305/174/2 Методика проведения кваліфікаційних испытаний кабелей типа КВВГЭнг на «жесткие» условия окружающей среды.