

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Центр заочної, дистанційної та вечірньої форм навчання

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра технології машинобудування, верстатів та інструментів

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Віталій ІВАНОВ

(підпис)

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

грудня

2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

«магістр»

(бакалавр/магістр)

зі спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

(код та назва)

освітньо-професійної програми «Якість, стандартизація та сертифікація»

(освітньо-професійної/освітньо-наукової)

(назва програми)

на тему: Удосконалення нормативного забезпечення діяльності організацій, що постачають продукцію важливу для ядерної безпеки

Здобувача (ки) групи СТ.мз-31с

(шифр групи)

Єременко Вадим Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

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

Вадим ЄРЕМЕНКО

(підпис)

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Керівник

ст. виклад, канд. техн. наук, Юлія ДЕНИСЕНКО

(посада, науковий ступінь, вчене звання, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

Нормоконтролер

ст. виклад, канд. техн. наук, Юлія ДЕНИСЕНКО

(посада, науковий ступінь, вчене звання, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

## ЗМІСТ

	с.
Вступ.....	4
Розділ 1 Ядерна енергетика: сучасний стан та перспективи розвитку .....	7
1.1 Дослідження використання атомної енергії для цивільних потреб .....	7
1.1.1 Перші комерційні атомні електростанції.....	7
1.1.2 Згасання та відродження атомної енергетики .....	8
1.2 Сучасний стан ядерної енергетики в цифрах.....	10
1.3 Ядерна енергетика та сталий розвиток .....	12
1.4 Країни, які мають розвинуту ядерну енергетику .....	14
1.5 Висновок.....	18
Розділ 2 Дослідження вимог нормативних документів щодо спеціальних вимог до застосування ISO 9001:2015 організаціями ядерного сектору, що постачають продукцію та послуги, важливі для ядерної безпеки.....	19
2.1 Аналіз законодавчих актів та документів, що діють в Україні .....	19
2.2 Міжнародний стандарт ISO 19443 та його особливості.....	19
2.3 Висновок.....	22
Розділ 3 Розроблення рекомендацій з управління якістю проектування та виробництва ядерного палива .....	23
3.1 Загальні характеристики .....	23
3.2 Загальні поняття про якість, контроль якості, система управління якістю .....	23
3.3 Документація системи менеджменту якості застосовується до ядерних об'єктів та видів діяльності .....	25
3.4 Загальні вимоги до проектування та виробництва палива.....	28
3.4.1 Організаторська діяльність .....	28
3.4.2 Управління людськими ресурсами.....	29
3.4.3 Ідентифікація та кодування продукції .....	31
3.4.4 Обробка, зберігання та доставка .....	32

	3
3.4.5 Управління невідповідністю.....	32
3.4.6 Додаткові вимоги – нагляд замовників за постачальниками паливних збірок.....	33
3.5 Специфічні вимоги, що застосовуються до конструкції палива.....	36
3.5.1 Контроль дизайну.....	36
3.5.2 Проектна документація.....	37
3.5.3 Процес кваліфікації дизайну .....	38
3.5.4 Типові етапи процесів кваліфікації та ліцензування нових видів палива.....	40
3.6 Специфічні вимоги, що застосовуються до виробництва палива...	42
3.6.1 Управління закупівлями .....	42
3.6.2 Управління виробничою діяльністю .....	43
3.7 Забезпечення якості програмних засобів і методів розрахунку .....	53
3.7.1 Загальні умови .....	53
3.7.2 Вимоги до програмного забезпечення та авторизація розробки.....	53
3.7.3 Розробка або модифікація програмного забезпечення .....	53
3.7.4 План верифікації та валідації програмного забезпечення .....	54
3.7.5 Кваліфікація з програмного забезпечення.....	54
3.7.6 Огляд програмного забезпечення.....	54
3.7.7 Реліз програмного забезпечення .....	55
3.7.8 Документація на програмне забезпечення.....	55
3.7.9 Звітування про проблеми.....	56
3.7.10 Вихід на пенсію програмного забезпечення.....	56
3.8 Висновок.....	56
Висновки.....	57
Перелік джерел посилань .....	59

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Чим складнішими стають технології, тим важливішою є надійність для гарантування властивостей та експлуатаційних характеристик цих технологій. Ядерний реактор, як правило, характеризується складними умовами експлуатації, які включають екстремальні умови в активній зоні реактора, де високі температури та потік теплоносія, а також де корозійні середовища та механічні навантаження поєднуються з інтенсивним опроміненням паливних стрижнів, паливних збірок та внутрішніх елементів активної зони реактора. Всі ці експлуатаційні аспекти можуть призвести до погіршення властивостей матеріалу, що зменшує запаси для всіх застосовних станів заводу, і в кінцевому підсумку до виходу з ладу палива та інших основних компонентів.

Експлуатаційна вартість таких відмов, як правило, висока, не кажучи вже про можливі наслідки подій для безпеки атомної станції. Тому пильна увага приділяється підбору матеріалів, що використовуються для палива і внутрішніх компонентів ядерного реактора, а також їх проектуванню, виготовленню і кваліфікаційним випробуванням. Мета полягає в тому, щоб забезпечити їх надійність і продуктивність з достатнім запасом протягом терміну служби.

У застосуванні до інженерії ядерного палива поняття надійності, продуктивності та якості взаємопов'язані, хоча іноді ці терміни використовуються окремо виробниками палива (наголошуючи на «якості», щоб мінімізувати дорогі відходи виробництва, що не відповідають вимогам) та операторами палива (наголошуючи на «надійності та продуктивності», щоб уникнути дорогих відмов під час експлуатації).

Ядерна енергетика належить до висококонкурентної енергетичної галузі, яка прагне до кращої комерційної роботи атомних електростанцій у межах визначених меж. Розвиток ядерної енергетики відображає еволюцію компромісу між техніко-економічними стимулами та вимогами безпеки. Отже,

необхідно враховувати як технічні, так і безпекові аспекти, а також управлінські підходи, спрямовані на практичну та ефективну реалізацію цієї філософії.

У той час як окремі технічні аспекти та аспекти безпеки палива розглядаються в різних публікаціях, здається, що бракує цілісних рекомендацій щодо інтегрованих підходів до підвищення надійності та продуктивності палива разом із якістю.

Розробники палива, постачальники та комунальні служби мають власні системи управління якістю. Тим не менш, в умовах сучасної глобалізації ринку палива та зростаючої стурбованості з приводу ядерної безпеки та безпеки постачання палива, гармонізація національних практик та обмін кращим досвідом забезпечать ефективний шлях забезпечення високої надійності та продуктивності ядерного палива в реакторі.

**Мета та завдання роботи.** Метою роботи є підвищення обороноздатності України на основі забезпечення високих стандартів безпеки та надійності в ядерній галузі шляхом розроблення рекомендацій щодо управління якістю процесів проектування та виробництва ядерного палива відповідно до вимог ДСТУ ISO 19443:2019.

Для досягнення поставленої мети в роботі були встановлені та вирішенні наступні **завдання**:

1. Провести дослідження питання сучасного стану та перспектив розвитку ядерної енергетики в Світі.

2. Дослідити вимоги нормативних документів щодо спеціальних вимог до застосування ISO 9001:2015 організаціями ядерного сектору, що постачають продукцію та послуги, важливі для ядерної безпеки.

3. Розробити рекомендацій з управління якістю проектування та виробництва ядерного палива.

**Об'єкт дослідження** – нормативне забезпечення діяльності організацій, що постачають продукцію важливу для ядерної безпеки.

**Предмет дослідження** – система управління якістю проектування та виробництва ядерного палива, що відповідає вимогам ДСТУ ISO 19443:2019.

**Практичне значення отриманих результатів.** Розроблено розроблення рекомендацій щодо управління якістю процесів проектування та виробництва ядерного палива відповідно до вимог ДСТУ ISO 19443:2019.

**Особистий внесок здобувача.** Основні наукові результати дослідження, що виносяться на захист, одержані автором самостійно або за його активної участі.

**Апробація роботи.** Немає.

**Публікації.** Немає.

**Структура й обсяг кваліфікаційної роботи магістра.** Робота складається із вступу, трьох розділів, переліку джерел посилань. Обсяг кваліфікаційної роботи магістра (без врахування додатків) становить 61 аркуш, у тому числі 8 рисунків, бібліографії із 20 джерела на 3 аркушах.

# РОЗДІЛ 1

## ЯДЕРНА ЕНЕРГЕТИКА:

### СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

#### 1.1 Дослідження використання атомної енергії для цивільних потреб

##### 1.1.1 Перші комерційні атомні електростанції

У США компанія Westinghouse розробила перший повністю комерційний реактор PWR потужністю 250 МВт, Yankee Rowe, який був запущений у 1960 році та працював до 1992 року. Тим часом киплячий водяний реактор (BWR) був розроблений Аргоннською національною лабораторією, а перший – Дрезденською -1 потужністю 250 МВт, розроблений General Electric, був запущений раніше в 1960 році. Прототип BWR, Vallecitos, діяв з 1957 по 1963 рік. До кінця 1960-х років було розміщено замовлення на реактори PWR і BWR потужністю понад 1000 МВт. [1]

Канадська розробка реакторів пішла зовсім іншим шляхом, використовуючи паливо з природного урану та важку воду як сповільнювач і теплоносій. Перша установка була запущена в 1962 році. Цей дизайн CANDU продовжує вдосконалюватися.

Франція починала з газографітової конструкції, подібної до Magnox, і перший реактор був запущений у 1956 році. Комерційні моделі працювали з 1959 року. Потім вона зупинилася на трьох послідовних поколіннях стандартизованих PWR, що було дуже економічно ефективною стратегією.

У 1964 році були введені в експлуатацію дві перші радянські атомні електростанції. У Білоярську (Урал) працював киплячий графітовий каналний реактор потужністю 100 МВт. У Нововоронежі (Поволжя) був побудований новий проект – малий (210 МВт) реактор на воді під тиском (PWR), відомий як ВВЕР (відомо-водяний енергетичний реактор – водяний енергетичний реактор). [1]

Перший великий РБМК (1000 МВт – каналний реактор великої потужності) запустили в Сосновому Бору під Ленінградом в 1973 році, а на північному заході Арктики почав працювати ВВЕР потужністю 440 МВт. Це було замінено версією 1000 МВт, яка стала стандартною конструкцією.

У Казахстані перший у світі комерційний прототип реактора на швидких нейтронах (БН-350) був запущений у 1972 році з проектною потужністю 135 МВт (нетто), виробляючи електроенергію та тепло для опріснення води Каспійського моря. У США, Великій Британії, Франції та Росії кілька експериментальних реакторів на швидких нейтронах виробляли електроенергію з 1959 року, останній із них був закритий у 2009 році. Це залишило російський реактор БН-600 єдиним комерційним реактором на швидких нейтронах, поки до нього не приєднався реактор БН-800 у 2009 році. 2016 рік. [1]

По всьому світу, за кількома винятками, інші країни обрали легководні проекти для своїх ядерних енергетичних програм, так що сьогодні 69% світової потужності є PWR і 20% BWR. [2]

### 1.1.2 Згасання та відродження атомної енергетики

З кінця 1970-х приблизно до 2002 року атомна енергетика зазнала деякого занепаду та стагнації. Було замовлено небагато нових реакторів, їх кількість, введена в експлуатацію з середини 1980-х років, трохи перевищувала кількість виведених з експлуатації, хоча потужність зросла майже на третину, а вихід на 60% завдяки потужності та покращеним коефіцієнтам навантаження. Частка атомної енергетики у світовій електроенергетиці з середини 1980-х була досить постійною на рівні 16-17%. Багато замовлень на реактори 1970-х років було скасовано. Відповідно впала ціна на уран, а також через збільшення вторинних поставок. Нафтові компанії, які вийшли на уранові родовища, виручилися, відбулася консолідація виробників урану. [1]



Проте наприкінці 1990-х років у Японії було введено в експлуатацію перший реактор третього покоління – Kashiwazaki-Kariwa 6 – удосконалений BWR потужністю 1350 МВт. Це було ознакою майбутнього одужання.

У новому столітті кілька факторів разом відновили перспективи ядерної енергетики.

По-перше, було усвідомлення масштабів прогнозованого збільшення попиту на електроенергію в усьому світі, але особливо в країнах, що швидко розвиваються.

По-друге, було усвідомлення важливості енергетичної безпеки – першочергової важливості того, щоб кожна країна мала гарантований доступ до доступної енергії, і особливо до диспетчеризованої електроенергії, здатної задовольнити попит у будь-який час.

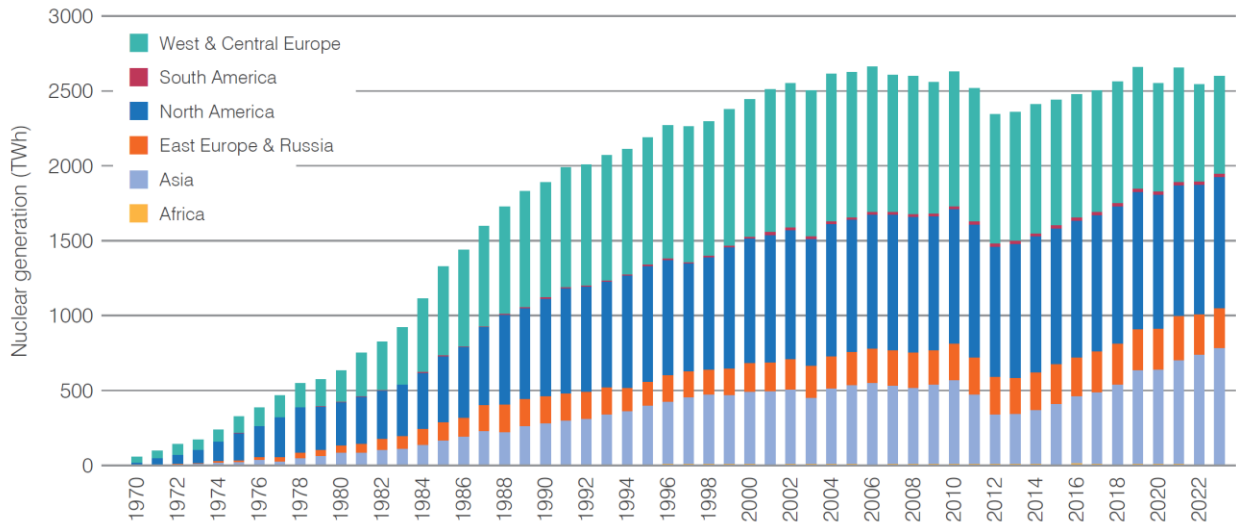
По-третє, це потреба обмежити викиди вуглецю через занепокоєння щодо зміни клімату.

Ці фактори збіглися з наявністю нового покоління ядерних енергетичних реакторів, і в 2004 році для Фінляндії було замовлено перший із блоків останнього третього покоління – європейський PWR (EPR) потужністю 1600 МВт. Подібний блок будується у Франції, а два нових блоки Westinghouse AP1000 будуються в США. [2]

Але плани в Європі та Північній Америці затьмарені планами в Азії, зокрема в Китаї та Індії. Лише Китай планує та буде шлях до величезного збільшення потужностей ядерної енергетики до 2030 року, і має понад сотню додаткових великих блоків, запропонованих та підтриманих надійною політичною рішучістю та підтримкою населення. Багато з них є останнім західним дизайном або його адаптацією. Інші є переважно місцевими проектами.

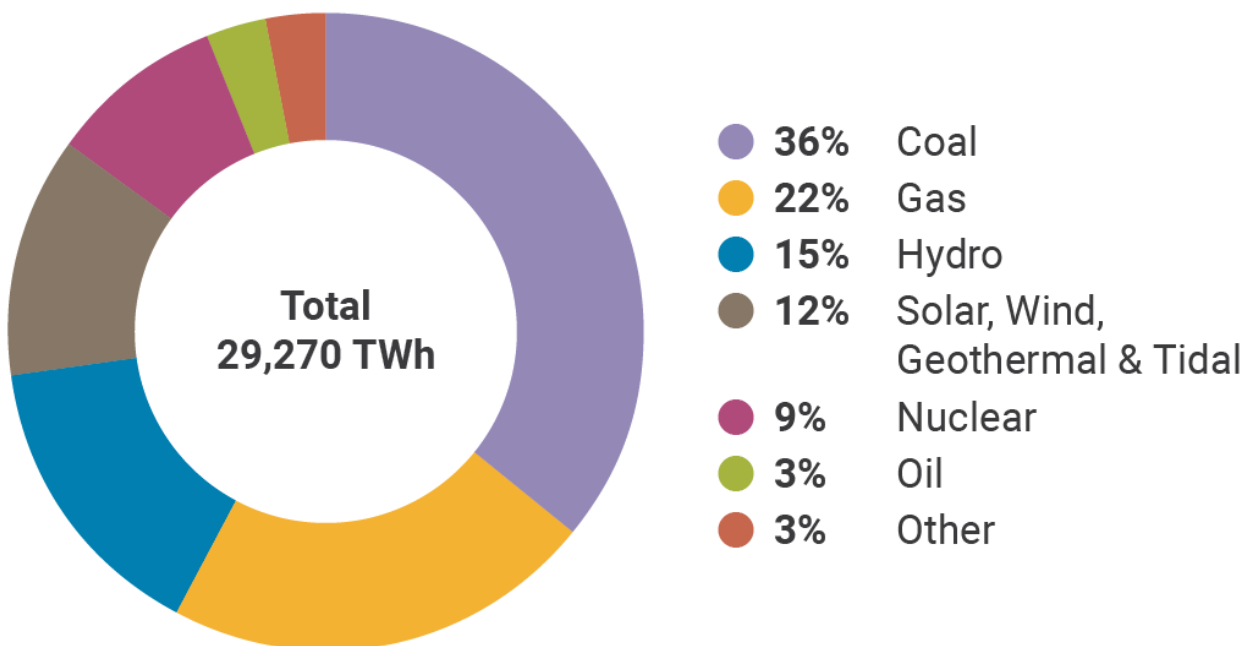
## 1.2 Сучасний стан ядерної енергетики в цифрах

У 2023 році АЕС відпустили 2602 ТВт-год електроенергії проти 2545 ТВт-год у 2022 році.



Source: World Nuclear Association and IAEA Power Reactor Information Service (PRIS)

Рисунок 1.1 – Виробництво електроенергії на АЕС у 1970-2023 рр. (джерело: World Nuclear Association, IAEA PRIS)



Source: IEA

Рисунок 1.2 – Світове виробництво електроенергії за джерелами 2020 (джерело: Міжнародне енергетичне агентство)

Чотирнадцять країн у 2023 році виробляли принаймні чверть своєї електроенергії з атомної електростанції. Франція отримує близько 70% своєї електроенергії з атомної енергії, тоді як Україна, Словаччина та Угорщина отримують близько половини з атомної енергії. Японія звикла покладатися на атомну енергетику для отримання більш ніж однієї чверті своєї електроенергії, і очікується, що вона повернеться приблизно до цього рівня.

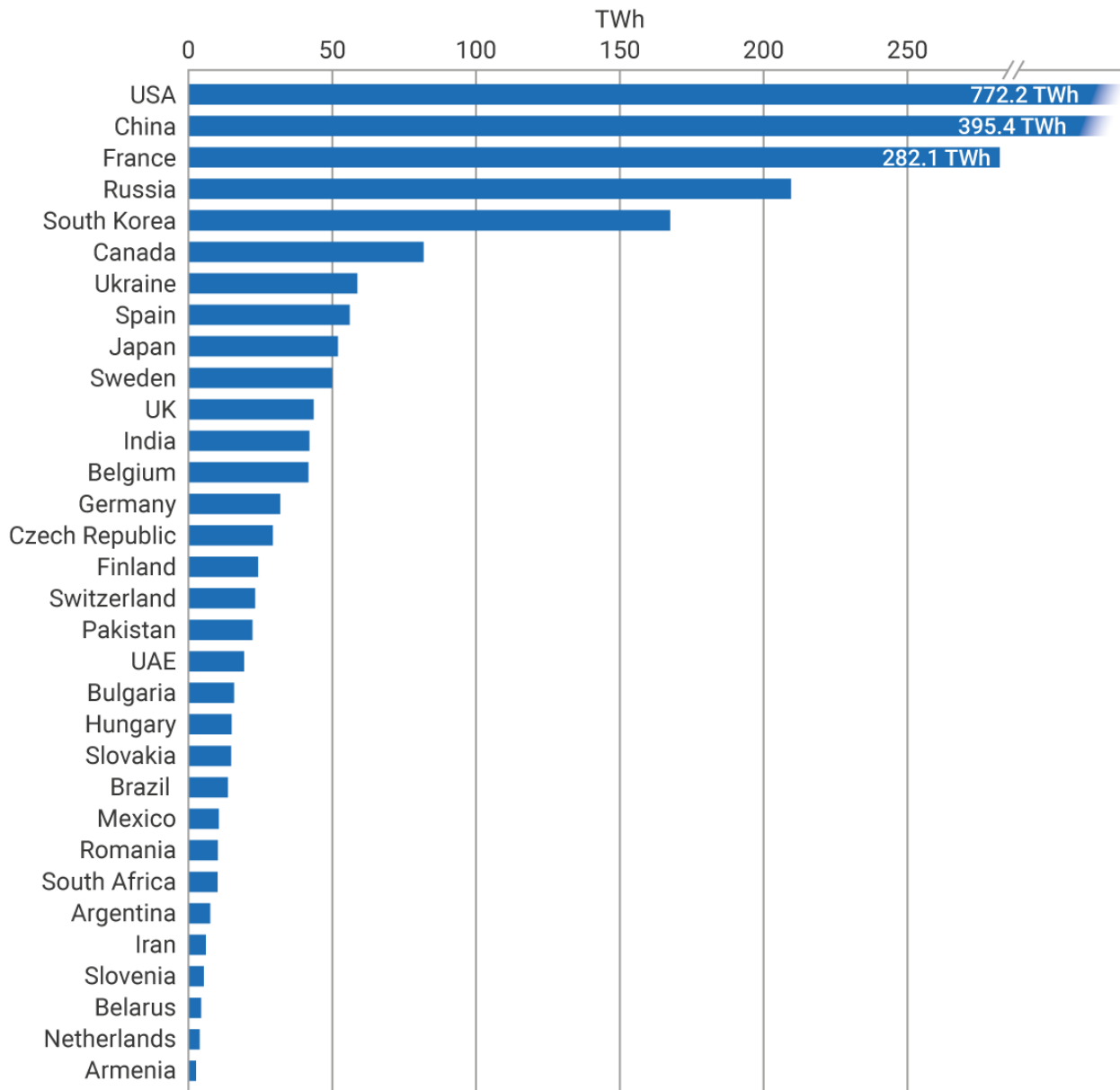


Рисунок 1.3 – Атомна генерація за країнами 2023 (джерело: Всесвітня ядерна асоціація, МАГАТЕ PRIS)

### 1.3 Ядерна енергетика та сталий розвиток

Сталий розвиток – це розвиток, який відповідає потребам сьогодення, не ставлячи під загрозу здатність майбутніх поколінь задовольняти свої власні. Як концепція, вона є цілісною, враховуючи справедливість між країнами та поколіннями та вимагаючи збалансування часто конкуруючих екологічних, соціальних та економічних факторів. Приблизно 30 років тому стійкість з точки зору енергопостачання розглядалася просто як доступність палива відносно рівня використання. Сьогодні в контексті сталого розвитку – і, зокрема, занепокоєння щодо зміни клімату та деградації навколишнього середовища – картина складніша.

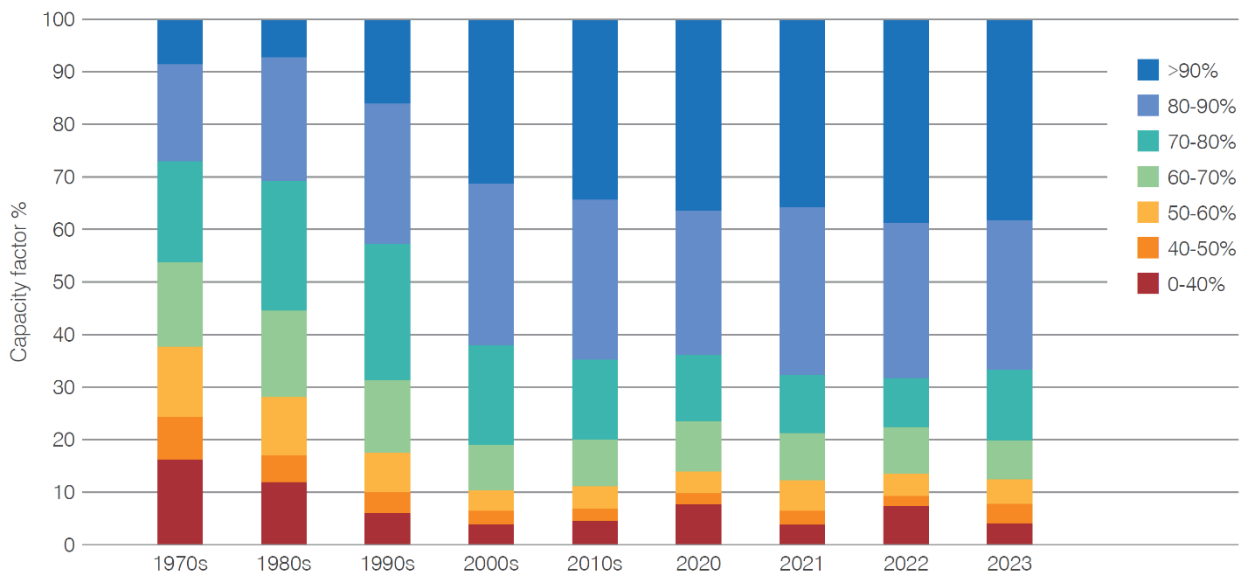
Взаємозв'язок між споживанням енергії та людським розвитком очевидний. Приблизно до 100 ГДж споживання на душу населення – рівень, якого ще належить досягти 80% населення світу – країна може фундаментально покращити рівень здоров'я, освітні стандарти та загальний добробут свого населення, споживаючи більше енергії. Таким чином, будь-який перехід до більш справедливого та сталого майбутнього має базуватися на забезпеченні переваг доступу до сучасних, доступних і надійних енергетичних послуг для всіх. Але це призведе до збільшення загального попиту на енергію: наразі 4 мільярди найбільш вразливих людей у світі споживають лише 5% від кількості енергії, якою користуються жителі розвинутих економік. Якщо ця цифра зросте до 15%, глобальне споживання енергії зросте на суму, еквівалентну додатковому попиту Сполучених Штатів.

Тому ключове питання полягає в тому, як постачати цю енергію? Наразі понад 80% споживання первинної енергії припадає на спалювання нафти, газу та вугілля – без змін з 1990 року. Однак нерегульовані викиди від спалювання палива спричиняють зміну клімату, шкоду навколишньому середовищу та передчасну смерть приблизно 7 мільйонів людей щороку. Таким чином, продовження використання викопного палива має серйозні соціальні, економічні та екологічні наслідки всередині та між поколіннями.

Подвійний виклик, що випливає з цього, – необхідність зменшити шкідливі викиди, водночас забезпечуючи більше енергії більшій кількості людей – ставить енергетичний сектор у центр досягнення сталого розвитку.

Немає жодної технології, яка була б без ризику для людей чи навколишнього середовища. Наприклад, хоча джерела енергії з низьким вмістом вуглецю не виділяють вуглекислий газ у місці використання, вони відповідають за викиди та відходи під час будівництва, виробництва та виведення з експлуатації. Таким чином, сумісність будь-якої енергетичної технології з цілями сталого розвитку повинна оцінюватися у відносних термінах – у світлі альтернатив.

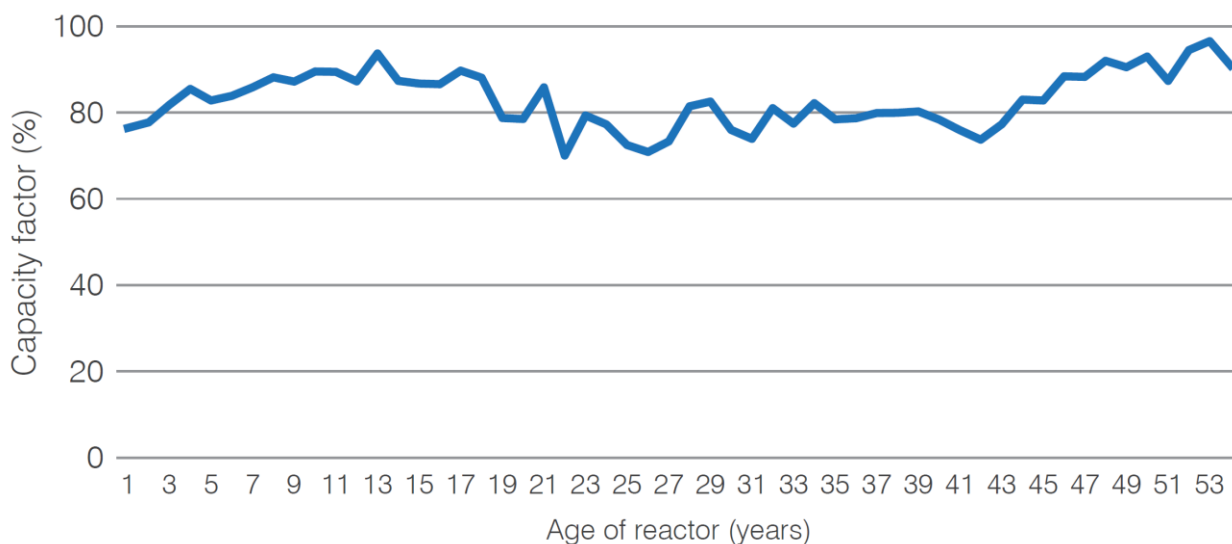
Продуктивність ядерних реакторів з часом значно покращилася. За останні 40 років частка реакторів, що досягають коефіцієнтів високої потужності, значно зросла.



Source: World Nuclear Association, IAEA PRIS

Рисунок 1.4 – Довгострокові тенденції факторів потужності (джерело: Всесвітня ядерна асоціація, IAEA PRIS)

Також слід зазначити, що протягом останніх п'яти років у середньому коефіцієнті потужності реакторів немає істотної тенденції, пов'язаної з віком.



Source: World Nuclear Association, IAEA PRIS

Рисунок 1.5 – Середній коефіцієнт потужності 2018-2023 за віком реактора (джерело: Всесвітня ядерна асоціація, МАГАТЕ PRIS)

У всьому світі існує очевидна потреба в нових генеруючих потужностях як для заміни старих установок, що працюють на викопному паливі, особливо тих, що працюють на вугіллі, які викидають велику кількість вуглекислого газу, так і для задоволення підвищеного попиту на електроенергію в багатьох країнах. У 2022 році 61% електроенергії було вироблено за рахунок спалювання викопного палива. Незважаючи на потужну підтримку та зростання періодичних відновлюваних джерел електроенергії в останні роки, внесок викопного палива у виробництво електроенергії суттєво не змінився за останні 15 років або близько того (66,5% у 2005 році).

#### **1.4 Країни, які мають розвинуту ядерну енергетику**

Близько 30 країн розглядають, планують або розпочинають ядерно-енергетичні програми, а ще близько 20 країн у певний момент висловили зацікавленість. У наведеному нижче списку наведено посилання для тих країн, які охоплюються сторінками певних країн:

У Європі: Албанія, Сербія, Хорватія, Норвегія, Польща , Естонія, Латвія, Литва , Ірландія, Туреччина .

На Близькому Сході та в Північній Африці: країни Перської затоки, включаючи Саудівську Аравію , Катар, Кувейт та Ірак; Ємен, Ізраїль, Сирія, Йорданія , Єгипет , Туніс, Лівія, Алжир, Марокко, Судан.

У західній, центральній і південній частині Африки: Нігерія, Гана, Сенегал, Кенія, Уганда, Танзанія, Замбія, Намібія, Руанда, Ефіопія.

У Центральній і Південній Америці: Куба, Чилі, Еквадор, Венесуела, Болівія, Перу, Парагвай.

У Центральній і Південній Азії: Азербайджан, Грузія, Казахстан , Монголія, Бангладеш , Шрі-Ланка, Узбекистан .

У Південно-Східній Азії та Океанії: Індонезія , Філіппіни , В'єтнам , Таїланд, Лаос, Камбоджа, Малайзія, Сінгапур, М'янма, Австралія .

У Східній Азії: Північна Корея.

Незважаючи на велику кількість цих країн, що розвиваються, не очікується, що вони зроблять значний внесок у розширення ядерного потенціалу в осяжному майбутньому – основне зростання відбуватиметься в країнах, де технологія вже добре запроваджена. Однак у довгостроковій перспективі тенденція до урбанізації в менш розвинених країнах значно збільшить попит на електроенергію, особливо на електроенергію, що постачається базовими електростанціями, такими як АЕС. Структура попиту на енергію в цих країнах стане більш схожою на попит у Європі, Північній Америці та Японії.

Деякі з перерахованих вище країн можна класифікувати відповідно до того, наскільки просунулися їхні ядерно-енергетичні програми або плани:

Енергетичні реактори, що будуються 1: Бангладеш, Єгипет, Туреччина.

Заплановані енергетичні реактори 2: Н/Д

Запропоновано 3 енергетичні реактори: Йорданія , Казахстан, Литва, Польща, Саудівська Аравія, Узбекистан.

Попередні плани, зобов'язання очікують на розгляд або відкладено: Алжир, Азербайджан, Естонія, Ефіопія, Гана, Кенія, Лаос, Марокко, Нігерія, Філіппіни, Руанда, Шрі-Ланка, Судан, Таїланд, Індонезія, Саудівська Аравія, В'єтнам (відкладено).

Як зазначено вище, Бангладеш і Туреччина будують свої перші атомні електростанції. Ряд інших країн переходять до використання ядерної енергії для виробництва електроенергії.

Незважаючи на вирішальну роль, яку ядерна енергетика повинна буде відіграти для досягнення Цілей розвитку ООН, залишається певна опозиція щодо все більшого визнання повноважень джерела енергії як внеску в сталий розвиток.

По суті, конкурентна позиція ядерної енергетики з точки зору сталого розвитку є надійною завдяки її щільності енергії та інтерналізації витрат на здоров'я та навколишнє середовище. Використання ядерної енергії дає численні переваги сталого розвитку перед наявними альтернативами, що пояснює його розширену роль у майже всіх основних дослідженнях, які окреслюють вірогідні шляхи забезпечення сталого енергопостачання. Аналіз характеристик ядерної енергетики в рамках сталого розвитку показує, що підхід, прийнятий у секторі ядерної енергетики, узгоджується з головною метою сталого розвитку передачі ряду активів майбутнім поколінням при мінімізації впливу на навколишнє середовище та тягаря.

Міжнародне агентство з атомної енергії (МАГАТЕ) переглянуло свої щорічні прогнози щодо розширення ядерної енергетики на четвертий рік поспіль. Передбачається, що світова ядерна потужність до 2050 року зросте в 2,5 рази порівняно з поточною потужністю, згідно з сценарієм високого сценарію МАГАТЕ, включаючи значний внесок малих модульних реакторів (SMR).

Підвищені прогнози, опубліковані в опублікованій сьогодні оцінці енергетики, електрики та ядерної енергії на період до 2050 року, узгоджуються



з глобальним консенсусом щодо необхідності прискорення розгортання ядерної енергії. На Конференції Організації Об'єднаних Націй зі зміни клімату (COP28) у Дубаї минулого року ядерну енергетику вперше було включено до Глобального аналізу, який закликав до прискорення розгортання технологій з низьким рівнем викидів, включаючи ядерну енергію, щоб допомогти досягти глибокої та швидкої декарбонізації.

«Після успіху COP28 у Дубаї та першого в історії Саміту з ядерної енергетики в Брюсселі світова динаміка ядерної енергетики продовжує зростати. Нові прогнози МАГАТЕ відображають дедалі більше визнання ядерної енергетики як чистого та безпечного джерела енергії, а також зростання інтересу до SMR для використання як в електричних, так і в неелектричних сферах для досягнення кліматичних цілей і сприяння сталому розвитку», — сказав генеральний директор МАГАТЕ Рафаель Маріано. Гроссі. Він оголосив про нові прогнози у своїй вступній промові на 68-й Генеральній конференції МАГАТЕ у Відні.

На кінець 2023 року працювало 413 ядерних енергетичних реакторів загальною потужністю 371,5 ГВт(е). Згідно з новим прогнозом МАГАТЕ у високому сценарії, передбачається, що до 2050 року потужність атомної електростанції зросте до 950 гігават. У цьому випадку глобальна потужність у 2050 році буде трохи більше ніж у 2,5 рази порівняно з 2023 роком. за прогнозами, потужність зросте на 40 відсотків до 514 гігават. На малі модульні реактори, або SMR, припадає приблизно одна чверть доданої потужності у високому варіанті та 6 відсотків у низькому сценарії.

У оцінках були враховані всі діючі реактори, потенційне продовження терміну експлуатації, можливе підвищення потужності, заплановані зупинки та очікувані проекти будівництва в найближчі кілька десятиліть. Близько 30 країн-новачків або розглядають, або просувають плани запровадження ядерної енергії у свій енергетичний баланс, тоді як інші країни розширюють і подовжують термін служби існуючих АЕС. Одним із найбільш економічно

ефективних джерел електроенергії з низьким рівнем викидів є продовження терміну експлуатації існуючих ядерних реакторів, йдеться у публікації. У високому сценарії передбачається, що термін експлуатації більшості ядерних енергетичних реакторів, які планується вивести з експлуатації, буде подовжено.

### **1.5 Висновок**

Отже, історія ядерної енергетики починається з науки в Європі, розквітає у Великобританії та США завдяки технологічній та економічній потужності останніх, завмирає на кілька десятиліть, а потім має новий стрибок зростання у Східній Азії. У цьому процесі понад 17 000 реакторо-років роботи було накопичено для забезпечення значної частки світової електроенергії.

Однак у ширшому плані пропозиція ядерної енергетики як сталого джерела енергії є фундаментально надійною через її вроджену щільність енергії та її інтерналізацію витрат на здоров'я та навколишнє середовище. Використання ядерної енергії має численні переваги щодо сталості порівняно з альтернативними формами виробництва. Розширюючи її використання, сучасна та доступна енергія може надаватися всім, хто зараз не має доступу, водночас зменшуючи вплив людини на природне середовище та гарантуючи, що здатність світу досягати інших цілей сталого розвитку не буде обмежена.

## РОЗДІЛ 2

# ДОСЛІДЖЕННЯ ВИМОГ НОРМАТИВНИХ ДОКУМЕНТІВ ЩОДО СПЕЦІАЛЬНИХ ВИМОГ ДО ЗАСТОСУВАННЯ ISO 9001:2015 ОРГАНІЗАЦІЯМИ ЯДЕРНОГО СЕКТОРУ, ЩО ПОСТАЧАЮТЬ ПРОДУКЦІЮ ТА ПОСЛУГИ, ВАЖЛИВІ ДЛЯ ЯДЕРНОЇ БЕЗПЕКИ

### 2.1 Аналіз законодавчих актів та документів, що діють в Україні

З 01 січня 2019 року в Україні набув чинності стандарт ДСТУ ISO 19443:2018 «Системи менеджменту якості – Спеціальні вимоги до застосування ISO 9001:2015 організаціями ядерного сектору, що поставляють продукцію та послуги, важливі для ядерної безпеки (ITNS)» [3]. Стандарт введено відповідно до Наказу Національного органу стандартизації № 472 від 10 грудня 2018 року. [4] Національний стандарт встановлює спеціальні вимоги щодо ризик-орієнтованого мислення, класифікації виробів та діяльності, важливих для ядерної безпеки та класифікаційного підходу до застосування вимог якості на всіх ланках ланцюга постачань в ядерному енергетичному секторі. [5]. В Україні вимоги стандарту були вперше запроваджені ще на етапі його розроблення в 2014 році в стандарті організації СОУ РСА 004 «Регістр СЕРТАТОМ», який станом на 01 січня 2019 року повністю відповідає положенням ISO 19443 (ідентичний переклад). [6].

### 2.2 Міжнародний стандарт ISO 19443 та його особливості

Для компаній, які прагнуть працювати в атомній промисловості, ISO 19443, виданий у 2018 році, визначає конкретні вимоги до системи управління якістю для організацій, які постачають продукцію та послуги для цивільного ядерного сектору.

Стандарт базується на ISO 9001, вводячи додаткові вимоги, адаптовані до унікальних потреб безпеки та якості ядерної промисловості. Він пропонує кілька переваг компаніям у ланцюжку ядерних поставок:

### 1. Розширені стандарти забезпечення якості та безпеки

Завдяки високим рівням безпеки та надійності, необхідні, стандарт допомагає компаніям гарантувати, що їхні продукти та послуги відповідають суворим вимогам безпеки та якості, знижуючи ризик помилок і аварій.

### 2. Дотримання умов договору

Поки він не стане обов'язковим, багато великих операторів вимагають від постачальників продемонструвати відповідність стандарту, продемонструвавши, що їхні процеси відповідають суворим вимогам безпеки, якості та нормативним вимогам.

### 3. Збільшення довіри та надійності

Сертифікація ISO 19443 демонструє всім зацікавленим сторонам, що компанія запровадила ефективні процеси для відповідності стандартам ядерної галузі. Це покращує репутацію компанії та зміцнює довіру зацікавлених сторін, що має вирішальне значення в цій суворо регульованій сфері.

### 4. Відповідність нормативним вимогам

Стандарт визнають 160 країн, які підписали нормативні вимоги для роботи в ядерному секторі. Це допомагає організаціям узгодити вимоги законодавства та регуляторів, забезпечуючи більш плавну взаємодію з регуляторними органами та знижуючи ризик невідповідності.

### 5. Покращене управління ризиками

Стандарт наголошує на ризик-орієнтованому мисленні та процесах, розроблених для запобігання дефектам і пом'якшення потенційних загроз безпеці. Активно визначаючи та керуючи ризиками в усьому ланцюжку постачання, компанії можуть підвищити безпеку роботи та зменшити дорогі збої.

### 6. Поліпшення координації ланцюга постачання

Компанії в рамках ланцюга постачання можуть краще співпрацювати з постачальниками та підрядниками, сприяючи більш комплексному та ефективному підходу до виконання стандартів якості та безпеки.

#### 7. Операційна ефективність і постійне вдосконалення

Впровадження системи управління якістю на основі ISO 19443 сприяє розвитку культури постійного вдосконалення. Це спонукає компанії оптимізувати процеси, зменшити відходи та підвищити ефективність, дотримуючись суворих стандартів якості.

#### 8. Глобальне визнання та доступ до ринку

Оскільки ISO 19443 є міжнародно визнаним стандартом, компанії, які пройшли сертифікацію, можуть позиціонувати себе як надійних постачальників на світовому ядерному ринку. Це відкриває нові можливості для партнерства та контрактів із великими гравцями атомної галузі.

#### 9. Краща надійність продуктів і послуг

Стандарт допомагає гарантувати, що продукти та послуги, що надаються постачальниками, є послідовними та надійними, що є критично важливим для безпечної та ефективної експлуатації ядерних установок. Це забезпечує кращу довгострокову продуктивність і знижує ризик дорогої переробки або збоїв системи.

#### 10. Підтримка компетентності та навчання працівників

Стандарт містить вимоги щодо забезпечення належної підготовки та кваліфікації персоналу, залученого до ланцюга ядерного постачання. Це допомагає компаніям підтримувати компетентну робочу силу, здатну підтримувати стандарти безпеки та якості в цьому складному середовищі. Прийнявши стандарт ISO 19443, компанії в ланцюжку ядерних поставок не тільки вдосконалюють свої внутрішні процеси, але й підвищують свою конкурентоспроможність і здатність відповідати суворим вимогам ядерної галузі.

## **2.3 Висновок**

Ядерна безпека має першочергове значення та має бути забезпечена протягом усього ланцюжка створення вартості. ISO 19443 вимагає від організацій, що постачають продукцію та послуги для ядерної галузі, мати можливість продемонструвати, що вони мають організаційні можливості для цього.

Сертифікація за стандартом ISO 19443 дозволяє компаніям продемонструвати свою здатність постійно надавати продукти та послуги, які відповідають вимогам клієнтів і чинним нормативним вимогам. Крім того, він будує орієнтацію на клієнта, постійне вдосконалення та залучення відповідних зацікавлених сторін.

## РОЗДІЛ 3

### РОЗРОБЛЕННЯ РЕКОМЕНДАЦІЙ З УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ПРОЄКТУВАННЯ ТА ВИРОБНИЦТВА ЯДЕРНОГО ПАЛИВА

#### 3.1 Загальні характеристики

Метою управління якістю є підтвердження та забезпечення відповідності конструкції палива вимогам безпеки та експлуатації, які зафіксовані в технічних умовах, а також що паливні продукти виготовляються відповідно до затверджених специфікацій на паливо.

#### 3.2 Загальні поняття про якість, контроль якості, система управління якістю

Якість визначається як «ступінь, в якій сукупність властивих характеристик об'єкта відповідає вимогам» за даними Міжнародної організації зі стандартизації (ISO) [7].

Концепція якості як основи безпеки і надійності розвивалася протягом тривалого часу, як показано на рис. 3.1, і була прийнята при проектуванні та виготовленні конструкцій, систем і компонентів атомних електростанцій.

На рис. 3.1 показана еволюція вимог до якості з 1900-х років до сьогодні, починаючи з контролю якості через забезпечення якості і системи менеджменту якості до інтегрованої системи управління.

Контроль якості визначається як «частина управління якістю, призначена для перевірки того, що структури, системи та компоненти відповідають заздалегідь визначеним вимогам» [8], Тому Контроль якості зосереджується на перевірці або демонстрації того, що зазначені вимоги були досягнуті (відповідність вимогам) за допомогою таких заходів, як відбір проб, вимірювання, інспектування, тестування, реєстрація, свідчення та аудит.

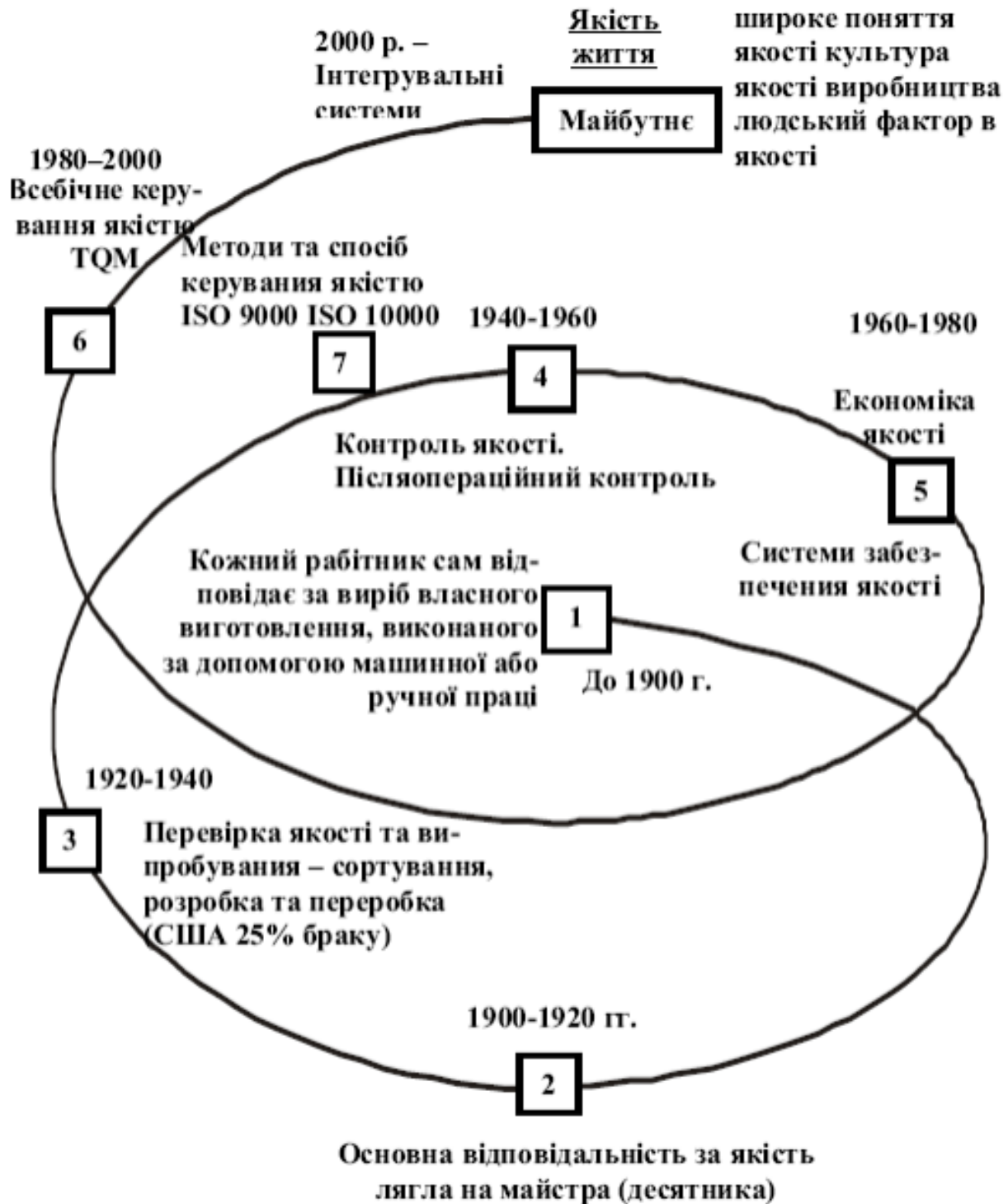


Рисунок 3.1 – Еволюція понять якості [9]

Забезпечення якості визначається як «функція системи управління, яка забезпечує впевненість у тому, що визначені вимоги будуть виконані» [8], Тому Забезпечення якості фокусується на забезпеченні впевненості в тому, що вимоги досягаються за допомогою систематичних процесів, включаючи



аудити, навчання, управління людськими ресурсами та управління документацією та записами, змінами, процедурами, методами роботи, ланцюжком поставок тощо. Забезпечення якості вимагає планування перед проведенням будь-яких робіт і виконання вищезазначених процесів.

Система менеджменту або система менеджменту якості (СМЯ) визначається як «сукупність взаємопов'язаних або взаємодіючих елементів {система) для встановлення політики і цілей і забезпечення можливості досягнення цілей в ефективному і результативному режимі» [7], Тому СМЯ описує діяльність, обов'язки, процеси і процедури таким чином, щоб організація могла досягати своїх цілей узгодженим чином.

Інтегрована система управління визначається як «єдина узгоджена система управління об'єктами і видами діяльності, в якій всі складові частини організації інтегровані для досягнення цілей організації» [7], Інтегрована система управління описує процеси, процедури, інструкції та заплановані дії, необхідні для забезпечення належної впевненості в тому, що всі ці вимоги виконуються. Інтегрована система управління гарантує, що інші міркування, такі як вимоги до охорони здоров'я, навколишнього середовища, безпеки та економіки, узгоджуються з вимогами безпеки (див. рис. 3.2).

### **3.3 Документація системи менеджменту якості застосовується до ядерних об'єктів та видів діяльності**

Підготовлено кілька типів документації СМЯ для надання стратегічного керівництва та керівництва по впровадженню функції (як показано на рис. 3.3). Документація СМЯ підготовлена таким чином, щоб відповідати вимогам міжнародних стандартів (наприклад, GSR Part 2 [10] МАГАТЕ, ISO 9001:2015 [11]), національним законодавчим та регуляторним вимогам та вимогам замовників.

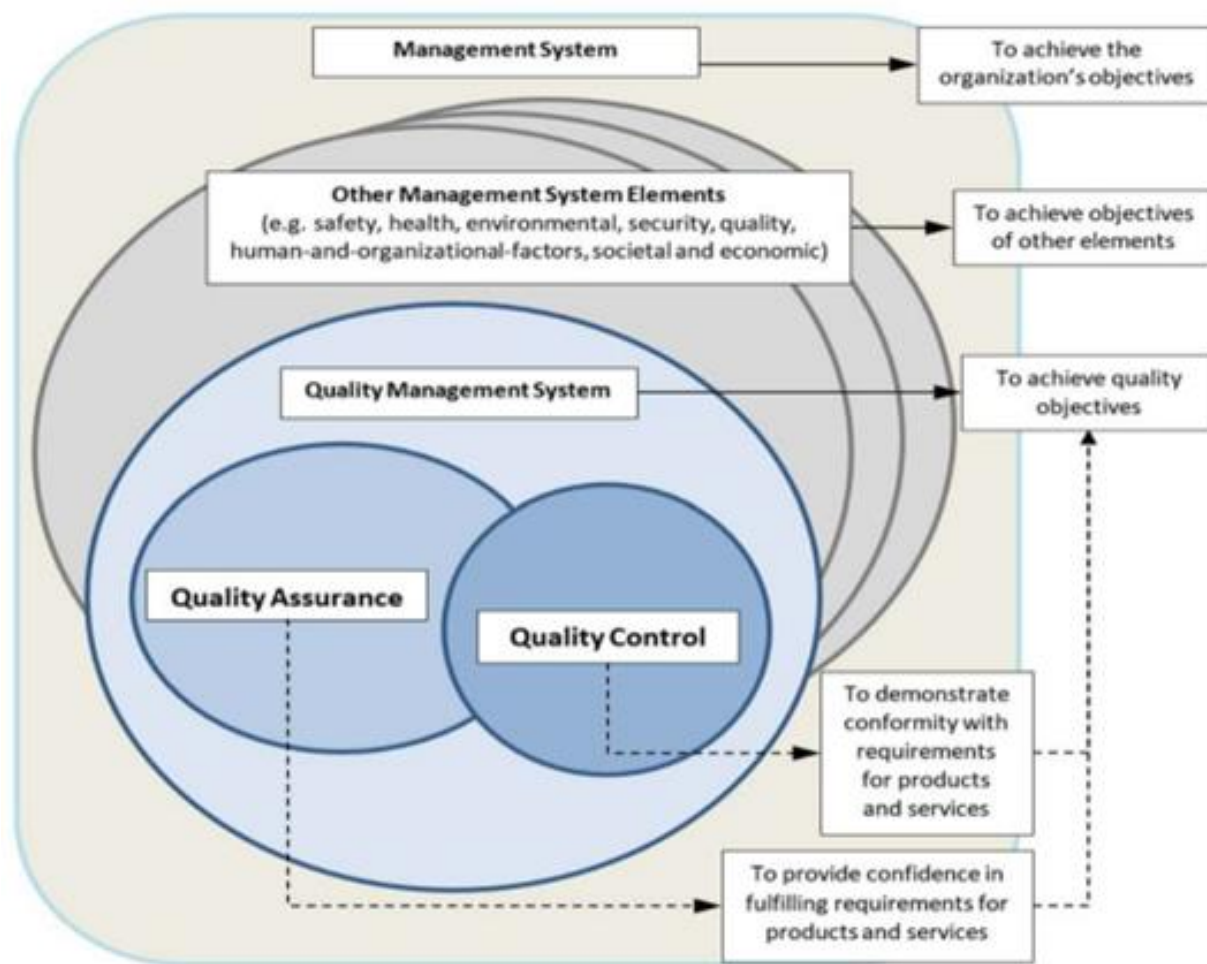


Рисунок 3.2 – Ілюстрація високого рівня зв'язків між забезпеченням якості, контролем якості та системою управління ядерними установками [12]

Політика в області якості визначається вищим керівництвом кожної організації [13], Політика в області якості повинна бути узгоджена з баченням і місією організації. Політика в області якості забезпечує цілі організації в області якості. Політика якості може бути включена в керівництво з якості або в документи програми забезпечення якості. Політику необхідно періодично переглядати та повідомляти всім співробітникам, щоб переконатися, що всі співробітники.

Узгоджені з конкретними та послідовними цілями щодо якості для задоволення клієнтів та інших зацікавлених сторін.

Настанова з якості або програма забезпечення якості визначає організаційні заходи та технічні заходи щодо забезпечення якості. План якості

описує, як організація, як правило, постачальник або постачальник, забезпечує заплановані процеси, продукти або послуги з посиланням на настанову з якості або документи процедури. План якості також використовується для контролю за відповідністю заданим вимогам (який також відомий як план інспекції та випробувань).

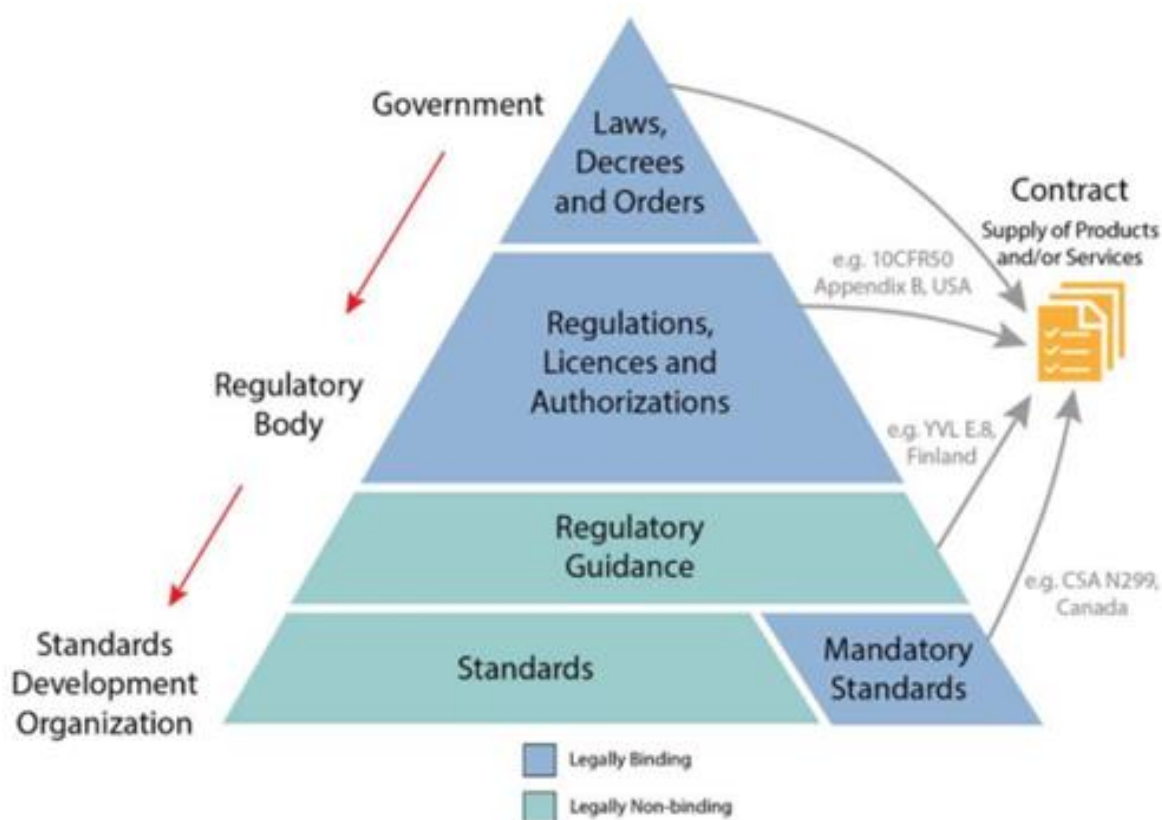


Рисунок 3.3 – Ієрархія документації системи менеджменту якості [12]

Важливі вимоги керівництва з якості, які застосовуються при проектуванні та виробництві палива, описані в розділах 3.4–3.7. Процедури описують, як визначити дії або процеси. Вони містять докладні робочі інструкції, присвячені елементарним завданням. Незалежно від рівня деталізації процедур, необхідно враховувати такі аспекти:

- визначення потреб організації та її клієнтів і постачальників;
- опис процесів, пов'язаних з необхідними діями (наприклад, за допомогою блок-схем);

- постановка завдань і обов'язків з організацією (що, хто, чому, коли, де, як);
- опис управління процесами;
- визначення ресурсів, необхідних для виконання діяльності (з точки зору персоналу, навчання, обладнання, матеріалів);
- визначення документації, пов'язаної з необхідними видами діяльності;
- визначення входу і виводу процесів;
- визначення вимірювань, які необхідно провести.

### **3.4 Загальні вимоги до проектування та виробництва палива**

#### **3.4.1 Організаторська діяльність**

Управління та організації в компанії з розробки та виробництва палива повинні бути чітко визначені за кількома пунктами:

1. Вся діяльність компанії повинна бути описана процесами, які чітко підкреслюють додану вартість кожного вкладника в кінцеву продукцію.

2. Обов'язки мають бути чітко визначені для кожного процесу. Зокрема, процес прийняття рішень має бути чітко визначений серед організацій у випадках нестандартних ситуацій. Зокрема, компанія повинна забезпечити, відповідно до державних норм, що кожен продукт контролюється незалежним чином командою якості, щоб уникнути будь-якої невідповідності якості продукту. Якісні команди повинні бути наділені повноваженнями компанії, щоб мати можливість зупинити виробництво в разі потреби.

3. Керівництво компанії повинно гарантувати, що процес прийняття рішень організований на належному рівні, а інформаційний потік, знизу вгору і зверху вниз, є точним і послідовним.

4. Процеси, організація та управління повинні бути адаптовані відповідно до ситуації, вимог клієнтів та пріоритетів бізнесу.

СМЯ потрібно будувати на основі зворотного зв'язку з досвідом – збору інцидентів та управління невідповідністю. Для підтримки високої якості

виконуються превентивні дії, засновані на аналізі ризиків. Кожну подію необхідно проаналізувати, щоб виявити слабкі місця в системах якості та вжити коригувальних заходів, щоб запобігти повторенню події. Аналіз ризиків проводиться на регулярній основі у всіх сферах. Метою даного аналізу є попередження інцидентів за допомогою засобів оборони в глибоких діях і забезпечення безпеки поставок для клієнтів.

Зауважимо, що в деяких організаціях проектування палива є функцією, що забезпечується виробником палива, тоді як в інших, таких як реактори CANDU, як проектування палива, так і ліцензування є відповідальністю експлуатаційної компанії. СМЯ для проектування палива застосовується або до виробників, або до експлуатуючих комунальних підприємств.

#### 3.4.2 Управління людськими ресурсами

Оскільки висока якість кінцевої продукції залежить від усіх співробітників організації, кожен з них повинен мати чітке розуміння важливості та основних цілей свого внеску.

Людська продуктивність і поведінка є ключем до досягнення та підтримки високого рівня якості. Хороша продуктивність вимагає високо підготовленого, кваліфікованого та мотивованого персоналу.

#### **Навчання та виховання**

Всі співробітники повинні бути навчені, щоб в кінцевому підсумку вони отримали кваліфікацію для самостійного виконання своїх завдань. Тренінг повинен містити теоретичну та практичну складові. Організація повинна забезпечити, щоб працівники зберігали свою кваліфікацію для виконання кожного завдання.

Здатність керувати експертизою в кожній відповідній галузі організації (наприклад, інженерне проектування, моделювання, зварювання та спікання робочих станцій) є ключовим фактором успіху для високоякісної кінцевої продукції. Цього можна досягти лише завдяки співпраці всіх департаментів та залучених осіб.

#### **Технічне обслуговування та людський фактор**

Ключова роль керівництва полягає в залученні всіх співробітників і субпідрядників до глобального мислення щодо якості. Тому керівництву необхідно звернути увагу на такі три моменти:

1. Організація повинна гарантувати високу якість у виробництві, а також повинна передбачити та забезпечити гільдії для майбутніх змін.

2. Культура безпеки повинна впроваджуватися і підтримуватися організацією.

3. Стратегія та цілі компанії повинні бути спільними для всіх співробітників.

Мотивація співробітників є найголовнішим гарантом високої якості в компанії. Тому система управління повинна забезпечувати необхідні засоби для створення і особливо підтримки мотивації співробітників, що включає в себе культуру відсутності звинувачень.

### **Підготовка та атестація інспекційного персоналу**

Слід зазначити, що конкретні види діяльності з контролю якості ядерного палива взаємопов'язані. Вимога до висококваліфікованих та підготовлених кадрів у сфері контролю якості / забезпечення якості є цілком обґрунтованою. Надзвичайно важливо, щоб ці люди були вмотивованими та відданими своїм завданням. Вони також повинні мати відповідний досвід щодо етапів процесу, які вони контролюють, і методів контролю, які вони застосовують.

### **Політика документування**

Документування та запис даних є складним завданням у технологічних процесах ядерного палива. Існує велика кількість даних, які потрібно обробляти та зберігати та бути легкодоступними протягом тривалого періоду. Наприклад, для надійної оцінки палива та його продуктивності надзвичайно важливо звернути увагу на архітектуру бази даних, що стосується збору, обслуговування та пошуку виробничих даних. Простежуваність важлива для аналізу кореневих причин у випадках невідповідності.

Необхідно подбати про створення систем збору даних, щоб гарантувати, що термін служби продукту відповідає терміну служби зберігання даних. Таким чином, зберігання даних контролю якості, необхідних для довгоживучих компонентів реактора, має бути довшим, ніж для короткоживучих паливних збірок. Однак, якщо проводяться дослідження палива після опромінення, дані про виробництво палива повинні залишатися доступними відповідно. Час зберігання та умови зберігання даних повинні бути чітко вказані для кожної групи продуктів і повинні відповідати терміну служби продуктів.

Більшість документів сьогодні створюються в електронному вигляді. Щоб прискорити їх поводження, постачальник палива вимагає систему електронної перевірки та погодження. Розповсюдження документів замовнику в електронній формі також дозволить скоротити загальний час, необхідний для їх погодження замовником та органом ліцензування.

#### 3.4.3 Ідентифікація та кодування продукції

Пропонуються такі ознаки:

1. Маршрут або проїзна картка прикріплюється до товару і подорожує разом з продуктом, а всі деталі обробки вводяться на кожній робочій станції.

У ньому містяться такі дані:

- 1) Ідентифікація продукту;
- 2) Шлях виготовлення;
- 3) Етапи виготовлення та стан перевірки;
- 4) Відхилення спостерігаються на різних етапах.

2. Етикетка контролю якості із зазначенням номера партії продукції, етапу та статусу перевірки та кількості. Крім того, можна включити деталі контролю якості та коментарі.

3. Компоненти паливної збірки, на яких по можливості повинні бути вигравірувані цифри.

4. Кольорове маркування контейнерів і вантажно-розвантажувального обладнання.

#### 3.4.4 Обробка, зберігання та доставка

Якість продукції, що виготовляється, залежить від способу її обробки. Необхідно виявляти і запобігати джерелам забруднення, дефектів і пошкоджень внаслідок поводження з ними на кожному етапі виробництва. Важливе значення має поводження з сировиною, інструментами та витратними матеріалами. Всі частини потрібно правильно зберігати в контейнерах або на полицях для подальшої переробки. Для запобігання пошкодженню або псуванню розробляється і використовується спеціальне вантажно-розвантажувальне і транспортне обладнання для паливних трубок, деталей, пучків та інше.

Необхідна документація включає:

- Сертифікат якості постачальника палива, який підтверджує, що паливо виготовлено відповідно до затверджених технічних умов;
- Файли відстеження кожного компонента будь-якого продукту (наприклад, виробничі записи).
- Якщо вони не доставляються разом з паливними збірками, то принаймні наступні документи (або їх копії) повинні бути в готовому доступі для перевірки комунальним підприємством на території постачальника палива:
  - Сертифікати матеріалів на всі комплектуючі матеріали, включаючи зварювальні конститутивні матеріали;
  - Сертифікати на виготовлення компонентів, вузлів паливних збірок і готових тепловиділяючих збірок;
  - Документи, що відображають результати перевірок, складених відповідно до планів перевірок.

#### 3.4.5 Управління невідповідністю

Невідповідність - це невиконання однієї або декількох існуючих вимог, зазначених в інструкції з якості або пов'язаних з нею документах. Якщо це впливає на персонал з безпеки та експлуатації, невідповідність має бути



вирішена на основі всебічного аналізу корінних причин та коригувальних дій. Впровадження коригувальних дій потребує подальшого покращення якості.

Серія стандартів безпеки МАГАТЕ No GS-G-3.1 «Застосування системи управління об'єктами та діяльністю» [77] надає вказівки щодо процесів невідповідностей та коригувальних дій.

Аудит забезпечення якості – це незалежний процес, який гарантує, що дизайн і продукція відповідають очікуваним рівням якості. GS-G-3.1 «Застосування системи менеджменту для об'єктів і діяльності» [77] містить вказівки щодо аудитів забезпечення якості. Аудити проводяться за процесами, продуктами або СМЯ.

На всіх рівнях управління необхідно регулярно проводити самооцінку для оцінки виконання роботи та підвищення культури безпеки. Оцінювання повинні доповнюватися незалежними оцінками, що проводяться організаційною одиницею, на яку покладено це завдання, або іншими незалежними сторонами, зовнішніми по відношенню до області або роботи, що оцінюється. Вище керівництво зобов'язане переглядати результати оцінок, приймати і фіксувати рішення, а також вживати подальших дій, які вважаються необхідними.

3.4.6 Додаткові вимоги – нагляд замовників за постачальниками паливних збірок

Ядерне паливо є критично важливим компонентом, який бере участь у безпеці активної зони реактора; Його надійність має важливе значення для забезпечення ефективної роботи атомної електростанції. Отже, замовник несе відповідальність за те, щоб усі вимоги безпеки виконувалися відповідно до законодавчих вимог держави, куди поставляється продукція, і щоб надійність і якість продукції відповідали цим очікуванням.

Щоб забезпечити належну поведінку палива, клієнтам необхідно здійснювати незалежне спостереження за діяльністю постачальника палива. Цей нагляд не може втручатися в контроль постачальника та внутрішній процес прийняття рішень, щоб не ставити під загрозу відповідальність

постачальника. Це спостереження ґрунтується на кооперативному підході. Нагляд за клієнтом охоплює всі дії від проектування до доставки продукту, включаючи виробництво

Нагляд за постачальником включає в себе наступне:

- Розгляд та затвердження документів (наприклад, кваліфікаційної та виробничої документації) перед використанням постачальником;
- Незалежна перехресна перевірка даних або інформації (наприклад, дані про продукцію, проектний або виробничий документ, розрахунок чисельного аналізу);
- Моніторинг поточних виробничих процесів в цеху;
- аудит СМЯ;
- Технічні інспекції зосереджені на темах, важливих для безпеки або якості (наприклад, процес зварювання, контроль гамма-сканування, дизайн-код, випробувальне обладнання).

Спостереження за клієнтами описано в документах, на які поширюється СМЯ постачальника. Результати спостереження за клієнтами записуються таким чином, щоб вони могли бути перевірені регулятором або будь-якою особою, призначеною кінцевим споживачем, якщо цього вимагає СМЯ замовника.

Нагляд за виробництвом з боку клієнтів вимагає перевірок, що проводяться на заводах постачальника та субпостачальників на основі підходу до відбору зразків. Перелік субпідрядників, які перебувають під наглядом замовника, визначається відповідно до вимог законодавства та очікуваної якості кінцевої продукції з урахуванням ризиків, пов'язаних з діяльністю субпідрядників.

На основі оцінки ризиків виробничого процесу, які замовник має намір пом'якшити, слід враховувати такі аспекти:

- Виробничі документи постачальника, на відповідність яким перевіряються законодавчі, якісні або договірні вимоги (креслення, специфікації, плани якості виробництва, програми та звіти інспекцій, технічні

записки, звіти про невідповідність, примітки до проектування або розрахунку безпеки);

– Діяльність, пов'язана з характеристиками продукції, важливими для безпеки та надійності паливної збірки, на основі яких визначається нагляд (включаючи відповідний рівень нагляду щодо кваліфікації процесів).

Нагляд за клієнтами описує документування невідповідностей і відхилень з метою забезпечення того, щоб постачальники надавали належний рівень інформації, щоб користувач паливної збірки міг безпечно вирішувати потенційну проблему, а також що вимоги законодавства щодо інформації, що надається регулюючим органам, були виконані. У будь-якому випадку постачальник може підтримати спостереження за комунальним підприємством за допомогою наступних дій:

1. Складання та надання замовнику актуального графіка виготовлення на всіх етапах виготовлення. Це важливо для того, щоб замовник міг запланувати візити для спостереження на етапах виробництва, що їх цікавить.

2. Забезпечення легкого доступу до всіх виробничих приміщень і виробничої документації.

3. Забезпечення того, щоб вимоги замовника щодо виготовлення тепловиділяючих збірок та їх компонентів були правильно зрозумілі та враховані в документації на заводах-виробниках.

4. Виконання практичних заходів для візитів замовника на завод субпостачальника.

5. Супровід та підтримка замовника під час наглядових візитів на виробництво.

Постійне вдосконалення спрямоване на підвищення ефективності застосування СМЯ, що може включати:

- Процес постійного вдосконалення системи;
- Процес забезпечення відповідності вимогам замовника та застосовним законодавчим і нормативні вимоги.

Одним із прикладів постійного вдосконалення, досягнутого в ядерній промисловості, є зменшення кількості відмов облицювань, яке раніше називалося ініціативою «Нуль до 2010 року» [14, 15], а сьогодні є ініціативою «Рух до нуля».

Ключем до зміцнення впевненості клієнтів у тому, що цілі якості були досягнуті та будуть досягнуті в майбутньому, є підтримка відкритого спілкування між замовником та постачальником.

### **3.5 Специфічні вимоги, що застосовуються до конструкції палива**

#### **3.5.1 Контроль дизайну**

Вимоги до управління якістю підпадають під наступні види діяльності, пов'язані з проектуванням:

- Вхідні дані дизайну (наприклад, вимоги до дизайну);
- Процес проектування;
- Управління інтерфейсами між різними дисциплінами та суб'єктами, що займаються конструюванням палива;
- Управління конфігурацією (наприклад, управління дизайном або зміною версії комп'ютерного коду);
- Аналіз;
- Верифікація;
- Перевірки.

Діяльність з розробки охоплює великий обсяг, починаючи від дослідження ідей (креативність) для вирішення проблеми, аж до можливості вивести новий продукт на ринок (промислове використання). Важливо розділити діяльність з розробки на фази, переходячи від однієї фази до наступної за допомогою gate review – тобто оглядів, що дозволяють перевірити виконану розробку та відповідні результати (тести) і досліджень), щоб переконатися в тому, що ймовірність успіху досить висока перед входом в наступну фазу.

У сфері ядерного палива, чим ближче фаза індустріалізації, тим жорсткіші вимоги до забезпечення якості. Частина результатів, отриманих в процесі розробки, буде використана пізніше в процесі ліцензування. З цієї причини важливо визначити на кожному етапі проекту всі випробування та дослідження, необхідні для того, щоб на пізньому етапі довести, що запропоновані рішення відповідають критеріям проектування та правилам безпеки.

Надійність рішень, які пропонуються клієнтам, залежить від кваліфікації та вичерпності впроваджених тестів і навчальних програм. Для цього потрібно мати (або мати доступ) багато випробувальних установок, включаючи опромінювальні установки та гарячі камери, що стосується розробки паливних продуктів.

Компоненти паливних збірок і виробу паливних збірок повинні проходити випробування на опромінення, щоб забезпечити належну поведінку в роботі в реакторі без впливу на наявний запас міцності.

### 3.5.2 Проектна документація

Проектна документація, яка подається на ліцензійну експертизу, включає в себе наступні документи (як мінімум):

1. Основа дизайну:
  - 1) Критерії проектування (конструкція і межі безпеки);
  - 2) Причини критеріїв (механізми деградації і виходу з ладу);
  - 3) Обґрунтування критеріїв (аналітичні та експериментальні докази того, що критерії є достатніми);
  - 4) Умови проектування.
2. Комп'ютерний код:
  - 1) Опис коду та моделей;
  - 2) Резюме результатів верифікації та валідації та кількісно визначених невизначеностей моделі;
  - 3) Інструкція користувача.
3. Перевірка дизайну:

1) Опис методики верифікації (аналітичний та експериментальний методи);

2) Стислий виклад результатів перевірочних робіт з демонстрацією виконання вимог до проектної основи та посилання на відповідні тематичні звіти для отримання детальної інформації;

3) Тематичні звіти, посилання на які містяться в резюме перевірки дизайну.

### 3.5.3 Процес кваліфікації дизайну

Той факт, що новий паливний продукт повинен отримати ліцензію на експлуатацію від органів безпеки, повинен враховуватися на всіх етапах розробки. Тому програма розробки повинна включати не тільки тести, щоб продемонструвати актуальність, але і всі тести, необхідні для демонстрації безпеки запропонованих інновацій.

Незначні зміни в конструкції зазвичай вносяться безпосередньо, в той час як серйозні зміни вимагають подальшого кваліфікаційного дослідження, включаючи експериментальне опромінення в випробувальних реакторах і опромінення свинцевого палива в комерційних енергетичних реакторах.

Перевагою енергетичних реакторів є можливість опромінення свинцевих тестових палив в репрезентативних умовах експлуатації, але недоліком є недостатня гнучкість, властива їх функції виробництва енергії.

На відміну від тестових реакторів, у комерційних реакторах неможливо перевірити паливо до межі можливостей (наприклад, швидкі коливання потужності аж до відмови палива). Отже, в комерційних енергетичних реакторах опромінюються тільки ті концепції, які пройшли попередню перевірку і які можуть бути виготовлені промисловим прототипним способом.

Однак на сьогоднішній день випробувальних реакторів в експлуатації небагато, і іноді вони лише частково репрезентативні з точки зору умов експлуатації (наприклад, потоку нейтронів, геометрії активної зони і тривалості опромінення, тривалості циклу). Як наслідок, як правило,

вимагається використання комерційних енергетичних реакторів для перевірки або кваліфікації нових концепцій палива.

Типовий процес кваліфікації в комерційних енергетичних реакторах повинен включати наступне:

- Оформлення проектної документації, включаючи результати валідаційних або кваліфікаційних випробувань, проведених раніше (див. вище);
- Якнайшвидше залучення оператора атомної електростанції та органу з питань безпеки;
- Визначення стратегії поступового впровадження свинцевих тестових палив;
- Проведення виїзних оглядів (при необхідності обстежень в гарячих камерах) після кожного циклу;
- Повідомлення про результати перевірки оператору установки та органу з безпеки для отримання дозволу на перевантаження в наступному циклі.

Опромінювальні роботи в комерційних енергетичних реакторах, інспекція на місці і, при необхідності, обстеження в гарячих камерах є обов'язковими етапами в процесі розробки нових паливних продуктів. Вони використовуються для перевірки нових конструкцій і кількісної оцінки їх продуктивності в репрезентативних умовах опромінення. Коли свинцеве випробувальне паливо завантажується в комерційний енергетичний реактор, розробник палива повинен надати вказівки щодо дизайну схеми завантаження, щоб мінімізувати ризик шкідливої взаємодії з резидентними паливними збірками, забезпечуючи при цьому достатні умови обмежувального опромінення для забезпечення належної демонстрації (наприклад, позиціонування свинцевого тестового палива, обмеження коефіцієнтів піку потужності, сумісність з існуючими видами палива та ін.).

Якщо це необхідно та схвалено оператором та органом з безпеки, кампанії можуть бути розширені за межі звичайної тривалості опромінення,

щоб надати кандидатів на паливні стрижні для випробувальних реакторів, які дозволяють вивчати поведінку палива за межами експлуатації (наприклад, випробування на рампу на відмову палива, умови випробувань на аварії, такі як випробування LOCA та RIA). Успіх опромінювальних дій гарантує, що майбутня експлуатація з повним пакетним перезавантаженням може бути виконана в промислових масштабах без непередбачених обставин

Крім того, оскільки поточна цільова ціна скидання паливних збірок перевищує 60 ГВт/т (для LWR), для досягнення переконливих результатів потрібна тривала тривалість (приблизно десять років), включаючи час опромінення, час охолодження та транспортування, а також усі післяопромінювальні обстеження та випробування. Витрати на вимірювання та випробування опроміненого матеріалу або під впливом опромінення дуже високі, а дослідження та розробки ядерного палива є значною інвестицією протягом тривалих періодів. Ці часові та фінансові обмеження необхідно враховувати під час кваліфікації та ліцензування.

#### 3.5.4 Типові етапи процесів кваліфікації та ліцензування нових видів палива

Етапи кваліфікації та ліцензування є відповідальністю постачальника палива з одного боку та оператора з іншого. Важливо, щоб обов'язки кожної частини}, що бере участь у проектуванні та оцінці безпеки, були чітко визначені. Для систем CANDU проектування, кваліфікація та ліцензування нових типів палива, як правило, є відповідальністю експлуатаційної компанії, при цьому постачальник палива несе відповідальність за виробництво палива відповідно до специфікацій, наданих комунальним підприємством.

Одним із прикладів типового процесу кваліфікації є наступне.

Після того, як конструктор палива розробляє новий вид ядерного палива, який раніше не був виготовлений і встановлений на атомній електростанції, він зв'язується з оператором для початку процесу кваліфікації.

Перший етап складається з загального опису конструкції, що представляється оператору для попередньої оцінки сумісності палива,



конструкції палива та основних характеристик нового палива. На цьому етапі зазвичай представляються натурні свинцеві тестові паливні збірки (разом з кресленнями).

Другим кроком є представлення основних методологій фізики, що використовуються, верифікації та валідації (V&V) документації для комп'ютерних кодів та звітів про проектування ядерних установок

Третім кроком є представлення методики механічного проектування паливної збірки, документації V&V для комп'ютерного коду та звіту про механічне проектування паливної збірки. На цьому етапі робиться презентація щодо повномасштабного процесу виготовлення прототипу, результатів механічних випробувань та аналізу навантажень у нормальних умовах та при LOCA, а також в умовах безпечного відключення землетрусу. Тут також необхідно представити тоді механічне проектування паливних стрижнів з урахуванням методики проектування паливних стрижнів, документації V&V для комп'ютерних кодів аналізу паливних стрижнів, властивостей цирконієвих сплавів і протоколу механічного проектування паливного стрижня.

Четвертим кроком є термогідравлічне проектування паливної збірки з методикою проектування термогідравлічних збірок, документацією V&V для комп'ютерних кодів та критичним тепловим потоком паливної збірки та звітами про термогідравлічне проектування. На цьому етапі представляються та обговорюються результати гідравлічних випробувань та випробувань на витривалість для повномасштабного макета паливної збірки.

П'ятий крок – оцінка безпеки. На цьому етапі розглядаються та обговорюються наступні:

- V&V документація для комп'ютерних кодів;
- методологія аналізу LOCA;
- поведінка цирконієвих сплавів в умовах LOCA та RIA;
- звіт про аналіз LOCA;
- звіт про сумісність з паливом для мешканців та оцінку безпеки.

При необхідності проводиться перевірка конструкції транспортного контейнера.

Після завершення всіх етапів, пов'язаних з конструкцією, обмеженнями сумісності та безпекою нового палива, необхідно провести попередню кваліфікацію постачальника палива. Вимоги до кваліфікації постачальника палива залежать від оператора, органу безпеки та державних законів про ядерну енергетику та безпеку. Однак звичайна послідовність такого процесу така:

- а) Підготовка вимог до кваліфікації процесу виробництва палива;
- б) Розробка та узгодження кваліфікаційних планів;
- с) Кваліфікація процесу виготовлення цирконієвих компонентів;
- г) Кваліфікація процесу виготовлення паливних збірок та компонентів;
- д) Аудит процесу проектування.

### **3.6 Специфічні вимоги, що застосовуються до виробництва палива**

#### **3.6.1 Управління закупівлями**

При закупівлях ядерного палива необхідно враховувати два питання: якість палива, що поставляється, і довгострокові, економічні та стабільні закупівлі. Останнє питання вирішується за рахунок довгострокових контрактів на поставку з великими постачальниками, які надають значення диверсифікації постачальників і напрямків поставок. Крім того, беручи участь у гірничодобувних проектах і підтримуючи достатній рівень запасів, керівництво закупівель повинно гарантувати необхідне паливо на найближчі кілька років.

Крім паливних збірок, договір між постачальником палива та комунальним підприємством охоплює такі пункти, як проектування, подання проектної інформації для ліцензування, виробництво, транспортування та управління якістю протягом усього виконання договірних обов'язків. Сфера також може включати постачання природного урану, послуги з конверсії та збагачення. Крім того, у зв'язку з важливістю палива для радіаційної безпеки

та високою економічною цінністю палива, життєво важливо, щоб постачальник палива продемонстрував адекватність проектування та виробництва комунальному підприємству та регуляторам безпеки до початку виробництва палива.

Перш ніж паливні збірки можуть бути використані в ядерному реакторі замовника, вони повинні отримати ліцензію регулюючого органу держави замовника, враховуючи, що в різних державах існують різні вимоги до ліцензування. Ліцензування поширюється на проектування палива та його виробництво.

### 3.6.2 Управління виробничою діяльністю

*План якості, що відповідає вимогам та очікуванням дизайнера та замовників*

Продукт, що поставляється в кінці цього процесу, повинен мати функції, необхідні дизайнеру в кресленнях або специфікаціях.

Наступні три пункти сприяють досягненню та підтвердженню відповідності кінцевого продукту:

1. Підготовче проектування для контролю за виробничим процесом:

1) Продукт проходить послідовні етапи, де його перетворюють (наприклад, конверсія, пресування, спікання) або збирають (наприклад, завантаження пелет, зварювання скелета) або зберігають або обробляють.

2) На кожному з цих етапів обладнання та умови експлуатації повинні бути ретельно підготовлені та визначені інженером обладнання та інженером-технологом, щоб бути впевненими, що цей крок ефективно сприяє очікуваній кінцевій якості продукту.

3) Необхідно підготувати етап виробництва та визначити деякі діапазони, в яких повинні бути обмежені важливі умови експлуатації, щоб забезпечити стабільні та повторювані виробничі ситуації.

2. Збір виробничих зразків та випробування зразків:

1) Під час виробничого процесу, на відповідних етапах, необхідно виготовляти репрезентативні зразки, а руйнівні випробування, проведені на

цих зразках, повинні довести, що процес знаходиться під контролем і стабільно генерує правильну продукцію

2) Прямі огляди в режимі он-лайн фактично виготовленого продукту:

3) Під час виробничого процесу проводяться прямі неруйнівні перевірки самого виробу з метою перевірки відповідності вимогам щодо розмірів, візуальних аспектів та чистоти.

#### *Система забезпечення якості*

Система забезпечення якості виробництва складається з наступних супутніх заходів:

- Кваліфікація процесу;
- Кваліфікація продукту;
- Обслуговування;
- Контроль якості;
- Оцінка якості;
- Документація з якості.

У виробництві ядерного палива дві сторони, постачальник і комунальне підприємство, співпрацюють у сфері забезпечення якості та мають певну постановку завдань. Наприклад, комунальні служби перевіряють відповідні процеси і дійсно перевіряють вимоги до проектування належним чином відображені у виробничій документації.

Сфера застосування постачальника в контексті фабрикації ядерного палива залежить від конкретної вимоги. При закупівлі палива або послуг необхідно приділяти особливу увагу розвитку здатності постачальників до кваліфікації, аудиту та інспектуванню, а також перевірки при отриманні. У разі, коли купується технологія для виробництва палива або надання послуг, більший акцент робиться на управлінні проектами, навчанні персоналу, розвитку менеджменту, кваліфікації процедур і обладнання

У наведених нижче розділах описані кваліфікація процесу, кваліфікація продукції та технічне обслуговування з точки зору калібрування та контролю

вимірювального та випробувального обладнання. Система управління якістю описана далі.

### *1. Кваліфікація процесу*

Кваліфікація процесу означає доведення того, що процес відповідає вимогам необхідного дизайну виробу. Процес відповідає вимогам, якщо ймовірність отримання невідповідного продукту досить мала. Кваліфікація процесу вимагає, щоб обмеження параметрів у конструкції були правильно враховані у виробничій документації, оскільки виріб має бути виготовлено в цих межах.

Також необхідно враховувати виробничі допуски та невизначеності. Обмеження, пов'язані з конкретним дизайном, повинні бути накладені на кваліфікований виробничий процес або процес повинен бути перекваліфікований. СМЯ, а значить і контроль якості, гарантує довгострокову безпеку і прибутковість.

Важливою особливістю кваліфікації процесу є аналіз властивої йому мінливості процесу. Існує дві можливості оцінки варіативності процесу: звичайна і інноваційна.

1) Традиційний різновид був введений Шухартом в 1920-х роках [16], Він розрізняв два типи причин мінливості, або, як її часто називають, мінливість - загальні, або випадкові, причини мінливості, і приписані причини мінливості. Загальні причини варіацій засновані на випадковості і не можуть бути усунені економічним шляхом, тому цей тип варіацій вважається неминучим. Другий тип варіацій, який можна спостерігати, включає варіації, коли причини, як правило, негативно впливають на середню варіацію і можуть бути точно виявлені та усунені, наприклад, низька якість сировини, працівник, який потребує додаткового навчання, або машина, яка потребує ремонту.

2) У «Довіднику з управління якістю ядерного палива» [17] була введена нова можливість, згідно з якою мінливість не класифікується, а характеризується стохастичною моделлю, яка не тільки відображає будь-яку визначену причину, але і являє собою повну картину мінливості процесу.

Модель може використовуватися як надійна основа для прийняття рішень, спрямованих на зниження загальної варіативності.

Діяльність по встановленню нового процесу можна назвати кваліфікацією відбору процесу (див., наприклад, посилання [18]). Це перший крок перед тим, як процес вибирається і використовується для регулярного виробництва. У зв'язку з перервою в процесі (наприклад, технічним обслуговуванням або модифікаціями) вже встановлений процес також потребує кваліфікації. Для кваліфікації вибору процесу виробничий процес повинен бути розроблений таким чином, щоб він міг відповідати необхідним характеристикам продукту з задовільно вузькими варіаціями.

Для перевірки працездатності процесу недостатньо просто створити контрольні діаграми для контролю того, чи контролюється процес. Процес має бути ефективним і контрольованим до початку виробництва. Традиційно можливості процесу вимірюються індексом можливостей процесу. Для кваліфікації процесу вже встановленого процесу необхідно провести детальну експертизу та кваліфікацію наступних елементів в індивідуальному порядку:

- Вхідний матеріал для обробки;
- Обладнання, яке буде використовуватися для обробки;
- Порядок дій, який буде використовуватися для обробки;
- Персонал, який бере участь безпосередньо в переробці.
- Приклад кваліфікації процесу наведено у Додатку II.

## *2. Кваліфікація продукту*

Будь-який процес розробки продукту – це структурований процес прийняття рішень, який часто ґрунтується на рішеннях про фінансування «так/ні». Як правило, він починається з дослідження технологічної доцільності. Другий етап складається з технологічної оцінки та ранньої оцінки продукту, які призводять до фактичної кваліфікації продукту, включаючи розгляд технологічності, функціональності, надійності та застосування продукту.

Що стосується ядерного палива, кваліфікація продукції повинна точно та надійно аналізувати склад ядерного палива, а також виявляти та кількісно

оцінювати мікродомішки. Мікроструктурна характеристика має важливе значення для вирішення проблем виробників палива. Аналітичні методології такі, що дозволяють перевіряти ядерні палива та вивчати параметри, пов'язані з поводженням з паливом.

Кваліфікація продукції закінчується встановленням вимог і специфікацій, які необхідно враховувати при проектуванні, розробці та кваліфікації виробничого процесу. Кінцевий продукт повинен пройти остаточну кваліфікацію перед процесом, і продукт кваліфікується. Як тільки це буде виконано, можна розпочати регулярне виробництво паливного продукту

### *3. Калібрування та контроль вимірювальної та випробувальної апаратури*

Обладнання, яке використовується для вимірювальних і випробувальних процедур на різних етапах виробництва, завжди повинно мати необхідну точність і точність вимірювання. Для забезпечення достовірності вимірювань необхідно налагодити систему повірки. Така система калібрування повинна дбати про підбір, калібрування, регулювання, обслуговування та контроль інспекційного, вимірювального та випробувального обладнання. Усі стандарти калібрування повинні простежуватися через вторинні стандарти до національних та міжнародних стандартів. Якщо потрібно, ці вторинні стандарти також повинні бути достатньо часто калібровані з первинними стандартами, доступними на національному рівні. Вимірювальні прилади, манометри, регулятори температури, механічні ваги та електронні ваги, серед іншого, періодично калібруються, а їх деталі зберігаються у відповідних планах забезпечення якості.

Багато аналітичних приладів є порівняльними і тому вимагають зразка відомого складу (довідкового матеріалу) для точного калібрування та вимірювання. Еталонний матеріал - це матеріал або речовина, одне або кілька значень властивостей яких є досить однорідними і добре встановленими, щоб

використовувати їх для калібрування приладу, оцінки методу вимірювання або присвоєння значень матеріалам. Сертифікований довідковий матеріал, що супроводжується сертифікатом, є довідковим матеріалом з одним або декількома значеннями властивостей, засвідченими за процедурою, яка встановлює простежуваність до точної реалізації одиниці, в якій виражені значення властивостей, і для якої кожне сертифіковане значення супроводжується невизначеністю при визначеному рівні впевненості.

Основними методами вимірювання, що використовуються по відношенню до еталонного матеріалу, як представлено в додатку III, є наступні методи спектрометрії:

- Термічна іонізаційна мас-спектрометрія;
- Мас-спектрометрія ізотопного розведення;
- Мас-спектрометрія плазми з індуктивно-зв'язаним зв'язком;
- Мас-спектрометрія джерела газу.

Прийоми і методи руйнівного дослідження матеріалів реакторів описані в роботі [19],

Невизначеність вимірювань часто недооцінюється, що часто призводить до труднощів з інтерпретацією результатів вимірювань або тестів. Ці труднощі можна подолати шляхом опису властивої варіативності використовуваних процесів вимірювання за допомогою стохастичних моделей.

### **Контроль та оцінка якості**

Система контролю якості перераховує процеси, послуги та продукцію, що підлягають моніторингу, як має виконуватися моніторинг для кожного з перелічених суб'єктів та специфікації, які мають бути виконані, включаючи критерії відхилення. Система контролю якості включає в себе детальні інструкції щодо коригувальних дій, які необхідно виконати в залежності від результату моніторингу. Контроль якості традиційно поділяється на контроль процесів і контроль продукції.

#### **1. Специфічні стандарти контролю якості**



Типовими прикладами, що використовуються в якості специфічних стандартів контролю якості, є такі стандарти:

1) Для процесів перевірки:

– Стандартний посібник із встановлення калібрування для методу вимірювання, що використовується для аналізу матеріалів ядерного паливного циклу (ASTM cl 156) [20];

– Калібрувальні лабораторії та вимірювально-випробувальне обладнання Загальні вимоги (ANSI Z540-1-1994);

– Системи управління вимірюваннями: вимоги до процесів вимірювання та вимірювального обладнання (ISO 10012:2003);

– Стандартний посібник з кваліфікації лабораторних аналітиків матеріалів ядерного паливного циклу (ASTM C1297);

– Рекомендована практика, персонал, кваліфікація та сертифікація з неруйнівного контролю (ASNT-TC-1A),

2) Для матеріалів і комплектуючих:

– Стандартна специфікація на безшовні труби з деформованого цирконієвого сплаву для паливної оболонки ядерного реактора (ASTM B-811-02);

– Стандартна специфікація на безшовні та зварні труби з деформованого цирконію та цирконієвого сплаву для ядерної служби (крім оболонки ядерного палива) (ASTM B-353);

– Методи проектування та забезпечення якості ядерних паливних стрижнів (ASTM C934).

Крім цих специфічних ядерних стандартів, весь спектр стандартів контролю якості, розроблених ISO та Міжнародною електротехнічною комісією (IEC), застосовується в ядерній промисловості для управління технологічними процесами та контролю продукції, для внутрішньої та зовнішньої контрольної діяльності.

2. Моніторинг, перевірка та ремонт

Методи контролю якості, як правило, передбачають три різні дії:

- 1) Періодичні моніторингові дії;
- 2) Інспекція;
- 3) Ремонт.

Якщо моніторинг виявляє відхилення від вимог і викликає сигнал тривоги, може бути проведена перевірка для точної локалізації відхилення. Якщо відхилення підтверджується інспекцією, його усувають, наприклад, шляхом ремонту. Існує внутрішній контроль якості та контроль, який виконують зовнішні інспектори.

Кожна з дій, що виконуються в рамках контролю якості, спирається на правильно відкалібрований вимірювальний прилад. Інтерпретація будь-яких результатів моніторингу та інспекції, які отримуються, повинна бути визначена однозначно, інакше неможливо прийняти відповідне рішення. Він повинен бути впевнений у виявленні неприйнятних продуктів або несправних процесів для своєчасного виправлення.

Діяльність, спостереження та реакції мають бути задокументовані відповідно до визначених нормативних актів та мають бути затверджені відповідними органами. Крім того, поінформованість персоналу з контролю якості повинна підтримуватися за допомогою адекватних заходів.

### 3. Управління та моніторинг технологічних процесів

Управління процесом передбачає порівняння результатів процесу зі стандартом і вжиття коригувальних заходів у разі розбіжності між ними. Він передбачає визначення здатності процесу виробляти продукт, який відповідає бажаним специфікаціям або вимогам. Зазвичай для встановлення контролю процесу використовуються статистичні інструменти, який зазвичай складається з моніторингу виходу з процесу. Якщо спостереження за процесом узгоджується з заданим стандартом, то процес приймається як контрольований, в іншому випадку вказується відхилення від стандарту і призводить до подальших дій. Зауважимо, що в ідеалі еталон задається валідованої стохастичною моделлю, що підвищує надійність і точність необхідного порівняння.

У багатьох практичних ситуаціях неможливо забезпечити 100% моніторинг процесу, або при необхідності додаткового нагляду проводиться спостереження. Для того, щоб програма моніторингу була дотримана, необхідно визначити обсяг (тип та обсяг) та інтервали дій з моніторингу. Моніторинг виконує функцію непрямого контролю за методами виробництва, обладнанням і персоналом, що впливають на якість. Результати моніторингу процесу, такі як нещодавній рівень відмов, тип і кількість ремонтних дій, також повинні бути доступні зовнішнім інспекторам для формування судження про фактичний стан процесу. Деякі з контрольних-пропускних пунктів включають наступне:

- Обґрунтованість застосованої процедури та інструкцій щодо випробувань;
- Калібрування (дата) контрольних-вимірних обладнань;
- Використання параметрів обробки згідно з інструкцією;
- Перевірка виготовлення тільки матеріалу, що випускається;
- Повна документація супровідних записів;
- Обробка та поводження відповідно до інструкцій;
- Маркування та ідентифікація предметів;
- Кваліфікація процедур, механізмів і персоналу;
- Валідність і наявність стандартів для порівняння.

Контроль за продукцією спрямований на виявлення невідповідної продукції та її усунення. Предметом контролю продукції можуть бути поодинокі одиниці або партії або партії предметів. У першому випадку може бути виконано одне або кілька вимірювань, в залежності від кількості якісних характеристик і їх характеру. В останньому випадку часто не вдається протестувати кожен елемент партією або партією, якщо тестування занадто дороге, трудомістке або руйнівне. У таких випадках використовуються плани приймання проб для прийняття рішення про якість партії або партії.

### **Ліцензійні аспекти виробництва палива**

Ліцензування виробництва матеріалів, комплектуючих і комплектних тепловиділяючих збірок здійснюється за наявності письмових документів, таких як:

- Специфікації;
- Креслення;
- Документація на виготовлення;
- Плани перевірок.

Що стосується необхідної якості, постачальник і комунальне підприємство співпрацюють у нагляді за виробництвом, проектуванні паливних збірок та інженерній перевірці, а також перевірці того, що вимоги до дизайну належним чином передані у виробничу документацію.

Відповідальність постачальника в контексті фабрикації ядерного палива залежить від конкретної вимоги. При закупівлі палива або послуг акцент повинен бути зроблений на розвитку здатності до кваліфікації постачальників, аудиті та інспектуванні, а також підтвердженні при отриманні. У разі, коли купується технологія для виробництва палива або для надання послуг, більший акцент робиться на управлінні проектами, навчанні персоналу, відпрацюванні менеджменту, кваліфікації процедур і обладнання.

Є й інші типові види діяльності, які є результатом співпраці постачальника та комунального підприємства в процесі закупівлі. Перед виробництвом перевантажувальних кількостей тип палива повинен бути ліцензований у штаті замовника. Ліцензування, як правило, складається з основи дизайну та перевірки дизайну, як описано вище.

Під час виготовлення замовник веде спостереження за процесом виготовлення на заводі. Остаточне приймання палива, як правило, відбувається на майданчику після перевірки отримання. Крім поставки самих тепловиділяючих збірок, на кожному етапі поставки палива постачальник повинен пред'явити замовнику певні документи для їх прийняття і в подальшому для затвердження органом охорони праці.

### **3.7 Забезпечення якості програмних засобів і методів розрахунку**

#### **3.7.1 Загальні умови**

Програмне забезпечення має бути однозначно ідентифіковане, а назва програмного забезпечення, ідентифікатор версії та статус сертифікації мають бути включені у вихідний код. Сертифікований виконуваний файл програмного забезпечення слід використовувати з місць контрольованого доступу, які забезпечують гарантії безпеки для забезпечення цілісності цих файлів. Пов'язаний з ним вихідний код, директиви компіляції, входи та виходи для тестових випадків повинні зберігатися як для записів протягом життя. Сертифікація програмного забезпечення може бути змінена адміністратором конфігурації програмного забезпечення лише відповідно до специфікацій (необхідна процедура). Документація для всіх модифікацій програмного забезпечення повинна зберігатися у файлі сертифікації програмного забезпечення, що надається адміністратору конфігурації програмного забезпечення. Всі аспекти проекту розробки проходять незалежну перевірку, якщо програмне забезпечення потребує сертифікації.

#### **3.7.2 Вимоги до програмного забезпечення та авторизація розробки**

При будь-якій новій розробці або модифікації програмного забезпечення необхідно враховувати наступну інформацію:

- Функціональні вимоги, включаючи конкретні деталі введення, обробки та виведення;
- Вимоги до продуктивності, обмеження дизайну або проблеми з якістю;
- Будь-які вимоги замовника або проекту, такі як зовнішні інтерфейси, питання якості та огляди дизайну проекту, серед іншого;
- Відкриті запити на зміну коду.

#### **3.7.3 Розробка або модифікація програмного забезпечення**

Під час розробки відповідальний програміст документує деталі дизайну та впровадження програмного забезпечення. Ця проектна документація

повинна включати опис виробу за допомогою детальної документації до програмного забезпечення.

#### 3.7.4 План верифікації та валідації програмного забезпечення

Кожна версія та редакція комп'ютерного коду повинні бути протестовані відповідно до плану верифікації та валідації програмного забезпечення (SWP), який міститься у файлі сертифікації. SWP включає опис методів, які повинні використовуватися відповідальним програмістом або інженером для забезпечення точної реалізації проектування програмного забезпечення.

Кожен тест-кейс, зазначений у SWP, повинен включати критерії прийнятності для кваліфікації програмного забезпечення. Критерії прийняття повинні враховувати консерватизми, необхідні для відповідності застосовним нормам і нормативним вказівкам.

#### 3.7.5 Кваліфікація з програмного забезпечення

Кваліфікація програмного забезпечення повинна бути продемонстрована задовільним виконанням SWP. Виконання SWP має бути задокументовано в атестаційному файлі та включає:

- Протокол виконання SWP;
- Документування важливих вхідних, вихідних та скриптових файлів;
- Порівняння результатів тест-кейсу з експериментальними даними або еталонними даними;
- Демонстрація того, що результати тестування відповідають вимогам до коду штампа, наприклад, за допомогою матриці простежуваності вимог;
- Огляд відмінностей щодо критеріїв прийняття;
- Обґрунтування всіх несподіваних відмінностей між результатами тест-кейсу та еталонним виводом;
- Виклад висновків.

#### 3.7.6 Огляд програмного забезпечення

Виконувані дії з розробки та обслуговування програмного забезпечення повинні бути підтверджені незалежною експертизою. Незалежний рецензент розглядає весь файл сертифікації коду для програмного забезпечення, яке буде

випущено. Про задовільне завершення незалежної рецензії свідчить підпис рецензента на дозволі на випуск програмного забезпечення. Ця незалежна рецензія повинна бути виконана однією або декількома кваліфікованими особами, які не підготували жодного з матеріалів, що рецензуються. Рецензент може бути з тієї ж організації, включаючи безпосереднього керівника або менеджера, за умови, що рецензент не призначив або не обмежив методи або вхідні дані для рецензування, а керівник або менеджер є єдиним компетентним рецензентом, доступним у межах вимог графіку проекту програмного забезпечення. Обґрунтування для розгляду керівником повинно бути задокументоване таким чином, щоб включати обсяг внеску менеджера-рецензента в програмні елементи і затверджуватися наступним найвищим рівнем керівництва в кожному випадку.

#### 3.7.7 Реліз програмного забезпечення

Дозвіл на випуск програмного забезпечення використовується для дозволу на інсталяцію програмного забезпечення в комп'ютерну систему для використання в промислових цілях. Дозвіл на випуск програмного забезпечення включає наступне:

- 1) Застосовні комп'ютерні платформи або конкретні визначення машин для всього встановленого програмного забезпечення;
- 2) Опис ефекту від змін до кодексу в тематичних звітах, затверджених регулюючим органом;
- 3) Для внутрішньо розробленого або кваліфікованого програмного забезпечення – позначення версії продукту, що встановлюється як сертифіковане програмне забезпечення в системі контрольованого доступу, і рівень його сертифікації.

#### 3.7.8 Документація на програмне забезпечення

Сертифіковане програмне забезпечення має бути задокументоване та доступне на момент підписання дозволу на випуск програмного забезпечення. Застосовуються такі рекомендації:

а) Документація повинна стосуватися функціональної (теорія), прикладної (користувацької) та програмної інформації для програмного забезпечення.

б) У максимальній мірі це практично можливо, документи користувача та теорії повинні зберігатися в повній, нефрагментованій формі, щоб мінімізувати плутанину з численними посиланнями в офіційній документації.

с) Незалежно від структури документації (кілька посібників або один посібник), необхідно звернути увагу на такі елементи:

- 1) Інформація про застосування (керівництво користувача);
- 2) Функціональне визначення (посібник з теорії);
- 3) Інформація про програмування (інструкція програміста).

#### 3.7.9 Звітування про проблеми

У разі виявлення помилки в будь-якій версії програмного забезпечення або пов'язаній документації, яка може вплинути на попередні результати, звітування про помилки для програмного забезпечення має бути завершено з дотриманням чіткої процедури.

#### 3.7.10 Вихід на пенсію програмного забезпечення

Коли визначено, що комп'ютерний код більше не потрібен, виведення програмного забезпечення з експлуатації повинно здійснюватися шляхом видачі дозволу на випуск програмного забезпечення, який дозволяє та оголошує про припинення та відключення всіх решти версій комп'ютерного коду.

### 3.8 Висновок

В розділі розроблено рекомендацій з управління якістю проектування та виробництва палива відповідно до вимог ДСТУ ISO 19443:2019. Це дозволить на майбутнє забезпечити національний сектор ядерної промисловості паливом, який буде вироблено вітчизняним виробником, що сприятиме повній енергонезалежності України.



## ВИСНОВКИ

За результатами проведених досліджень за темою «Удосконалення нормативного забезпечення діяльності організацій, що постачають продукцію важливу для ядерної безпеки» було:

1. Встановлено:

1) що Міжнародне енергетичне агентство ОЕСР публікує щорічні сценарії, пов'язані з енергетикою. У звіті *World Energy Outlook 2023* «Сценарій чистих нульових викидів до 2050 року» (NZE) «встановлює шлях до стабілізації підвищення глобальної середньої температури на 1,5°C разом із універсальним доступом до сучасної енергії до 2030 року». NZE у WEO 2023 передбачає збільшення ядерної потужності до 916 ГВт до 2050 року.

2) Будучи єдиним перевіреним, масштабованим і надійним джерелом енергії з низьким вмістом вуглецю, ядерна енергетика повинна буде відігравати ключову роль, якщо світ хоче зменшити свою залежність від викопного палива для боротьби зі зміною клімату та хронічним забрудненням повітря.

3) Міжнародна організація зі стандартизації запровадила міжнародний стандарт ISO 19443 Системи управління якістю – Спеціальні вимоги до застосування ISO 9001:2015 організаціями в ланцюжку постачання сектору ядерної енергії, які постачають продукти та послуги, важливі для ядерної безпеки (ITNS) застосовний до всіх представників ядерної галузі, які постачають продукти та послуги, важливі для ядерної безпеки (ITNS). Це включає проектування, виробництво, закупівлю, постачання, будівництво, технічне обслуговування та постачальників технологій.

4) Стандарт ISO 19443, вимоги якого базуються на основі ISO 9001, є першим міжнародним стандартом, створеним галуззю для забезпечення контролю якості в усьому ланцюжку постачання. Він поєднує найкращі практики якості з конкретними вимогами ядерної промисловості та побудований на структурі високого рівня ISO (HLS) – наборі з 10 пунктів, на

яких базуються всі стандарти ISO, що забезпечує однаковий вигляд і відчуття. Це забезпечує більшу інтеграцію в усіх системних дисциплінах, таких як навколишнє середовище, охорона праці та безпека, як мінімум, інформаційна безпека.

2. Розроблено рекомендації щодо управління якістю процесів проектування та виробництва ядерного палива відповідно до вимог ДСТУ ISO 19443:2019 є важливим кроком у забезпеченні високих стандартів безпеки та надійності в ядерній галузі. Їх впровадження створить основу для формування національного виробництва ядерного палива, яке відповідатиме міжнародним нормам та стандартам. У перспективі це дозволить забезпечити український ядерний сектор власним паливом, виробленим вітчизняними підприємствами, що стане важливим внеском у досягнення повної енергонезалежності країни, підвищення економічної стабільності та зміцнення енергетичної безпеки України.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

- 1 Outline History of Nuclear Energy / URL: <https://world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/outline-history-of-nuclear-energy>
- 2 IAEA Outlook for Nuclear Power Increases for Fourth Straight Year, Adding to Global Momentum for Nuclear Expansion / URL: <https://www.iaea.org/newscenter/pressreleases/iaea-outlook-for-nuclear-power-increases-for-fourth-straight-year-adding-to-global-momentum-for-nuclear-expansion>
- 3 СТУ ISO 19443:2019 Системи управління якістю. Спеціальні вимоги до застосування ISO 9001:2015 організаціями ядерного сектору, що постачають продукцію та послуги, важливі для ядерної безпеки (ITNS) (ISO 19443:2018, IDT)
- 4 Наказ Національного органу стандартизації ДП УкрНДНЦ № 472 від 10.12.2018
- 5 Представляємо переклад статті, опублікованої в новинному розділі сайту ISO, щодо закінчення розробки нового стандарту ISO 19443 (доступний до придбання з 28.05.2018). / URL: <http://www.certatom.kiev.ua/index.php/ua/novini/388-15062018-iso-19443-novyi-standart-iakyi-pidvyshchuie-riven-bezpeky-v-iadernomu-sektori>
- 6 Щодо сертифікації систем менеджменту за ISO 19443 / URL: <http://www.certatom.kiev.ua/index.php/ua/novini/405-10-10-2018-shchodo-sertifikatsiji-sistem-menedzhmentu-za-iso-19443>
- 7 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Quality Management Systems — Fundamentals and Vocabulary, ISO 9000:2015, ISO, Geneva (2015).
- 8 INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, IAEA Nuclear Safety and Security Glossary, Non-serial Publications, IAEA, Vienna (2022).

- 
- 9 ЛЕКЦІЯ № 2 ЕВОЛЮЦІЯ ЯКОСТІ ТА СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ЯКІСТЮ. URL: [https://mte.nure.ua/pdf/studying/dov\\_ouy\\_lk2.pdf](https://mte.nure.ua/pdf/studying/dov_ouy_lk2.pdf)
- 10 INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Leadership and Management for Safety, IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 2, IAEA, Vienna (2016).
- 11 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Quality Management Systems — Requirements, ISO 9001:2015, ISO, Geneva (2015).
- 12 Quality in the Nuclear sector. URL: [https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Quality\\_in\\_the\\_Nuclear\\_sector](https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Quality_in_the_Nuclear_sector)
- 13 INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *Quality Assurance and Quality Control in Nuclear Facilities and Activities: Good Practices and Lessons Learned*, IAEA-TECDOC-1910, IAEA, Vienna (2020).
- 14 HELMERSSON, B., YOUNG, M., WIKMARK, G., HAHN, P., “Maintaining and improving fuel reliability”, *WRFPM TopFuel 2009 (Proc. Water Reactor Fuel Perf. Mtg Paris, 2009)*, SFEN, Paris (2009) 85-93.
- 15 EDSINGER, K., et al., “Recent US fuel reliability experience”, *Proc. Water Reactor Fuel Perf. Mtg Paris, 2009*, SFEN, Paris (2009) 100-106.
- 16 SHEWHART, W.A., *Economic Control of Quality of Manufactured Product*, D. Van Nostrand Co., New York (1931).
- 17 BAUR, K., VON COLLANI, E., *Nuclear Fuel Quality Management Handbook, Vol. I: Fabrication, Operation, Disposal and Transport of Nuclear Fuel*, ANT International, Skultuna (2010).
- 18 GRANT, E.L., LEAVENWORTH, R.S., *Statistical Quality Control*, 6th edn, McGraw-Hill, New York (1988).
- 19 INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *Guidebook on Destructive Examination of Water Reactor Fuel*, Technical Report Series No. 385, IAEA, Vienna (1997).
- 20 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, *Standard Guide for Establishing Calibration for a Measurement Method Used to Analyze Nuclear*

---

*Fuel Cycle Materials, ASTM Cl 156 (Rev. 3), ASTM, West Conshohocken, PA (2003).*