

«УКРАЇНСЬКИЙ ЯДЕРНИЙ ФОРУМ-2019:  
ЯДЕРНА ЕНЕРГЕТИКА - СТАН ТА ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ

Можливість довгострокової експлуатації енергоблоків України за  
«Узагальненою програмою контролю змін властивостей  
металу корпусів реакторів енергоблоків АЕС за зразками-  
свідками на період понад проектної експлуатації»

Відділ радіаційного матеріалознавства

ВП «Науково-технічний центр» ДП «НАЕК «Енергоатом»

Чалий Едуард, Гринченко Геннадій, Тригубенко Олександр

3-4 липня 2019

# Енергоблоки АЕС України



Ровенская АЭС  
Rivne NPP



РІВНО  
RIVNE



Хмельницька АЭС  
Khmelnitsky NPP



ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ  
KHMELNITSKY



КИЕВ  
KYIV

Дирекція НАЭК "ЕНЕРГОАТОМ"  
Main office NNEGC "ENERGOATOM"



Южно-Украинская АЭС  
South Ukraine NPP



ЗАПОРІЖЖЯ  
ZAPORIZHZHYA





НИКОЛАЕВ  
MYKOLAYIV

Запорожская АЭС  
Zaporizhzhya NPP



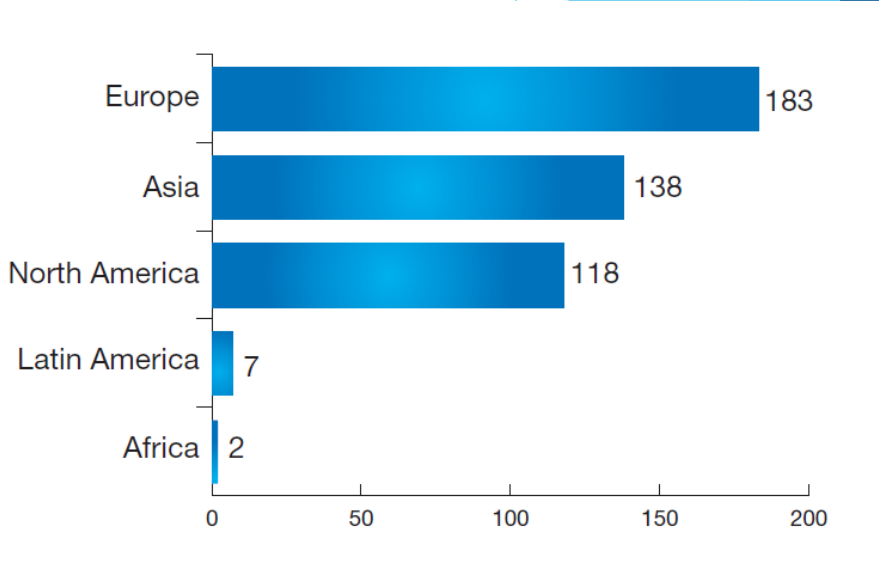
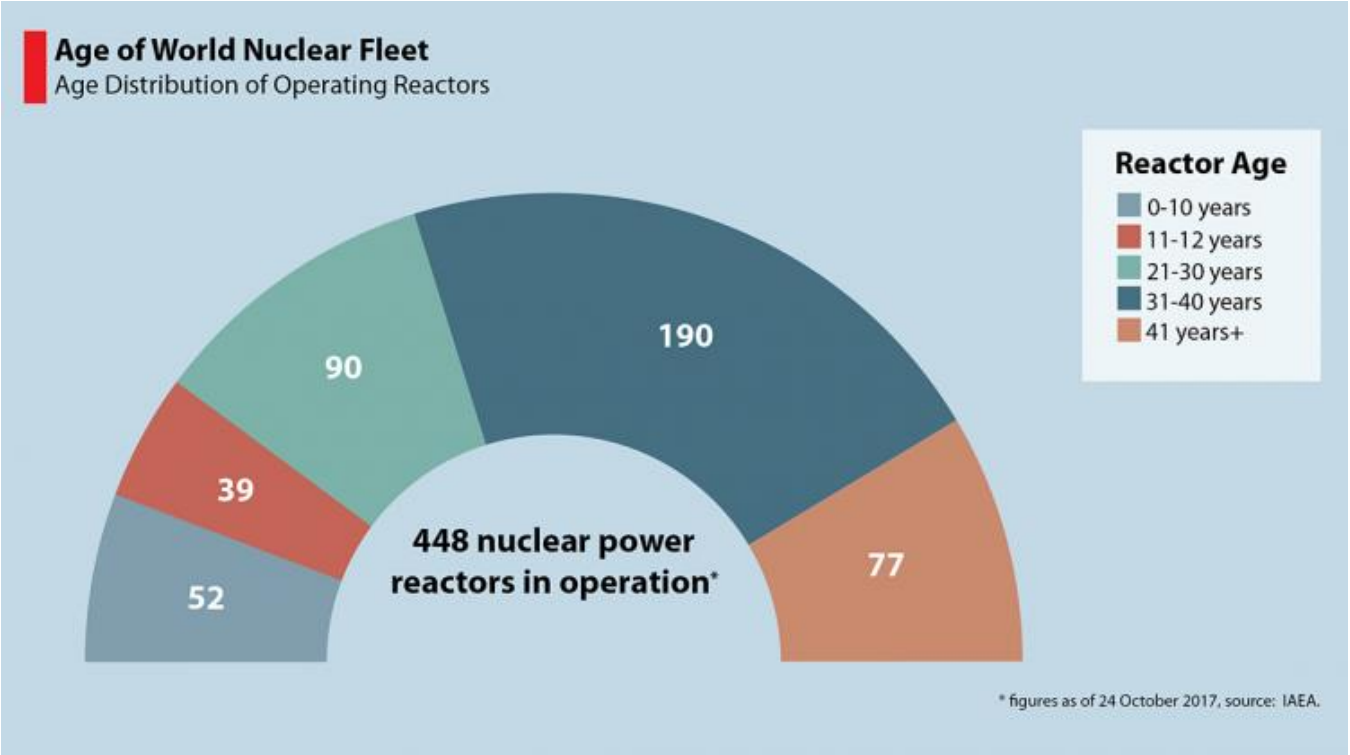
## Умовні позначення

Типи реакторів  
Type of reactors

-  ВВЕР-1000  
WWER-1000
-  ВВЕР-440  
WWER-440

Енергоблоки АЕС України введено в експлуатацію у період 1980-2004р.р.

# Світова тенденція щодо продовження експлуатації



З 448 діючих енергоблоків в світі, 267 - або приблизно 59,6% - працюють вже 30 років або більше.

Регіональний розподіл енергоблоків в світі

<https://www.iaea.org/newscenter/news/iaea-conference-on-nuclear-power-plant-life-management-opens>  
[https://www.iaea.org/sites/default/files/resources\\_for\\_plant\\_life\\_management\\_brochure.pdf](https://www.iaea.org/sites/default/files/resources_for_plant_life_management_brochure.pdf)

# Світовий досвід продовження експлуатації

- ▶ Близько 90 відсотків американських АЕС вже поновили свої ліцензії, розширивши свою експлуатацію до 60 років.

*Але більшість з них скоро досягне кінця свого 60-річного терміну.*

Якщо вони перестануть працювати або не будуть замінені на нові заводи, відсоток енергії, виробленої з ядерної енергії, скоротиться.

США ведуться роботи **з подовження експлуатації АЕС з 60 до 80 років.**



*В Росії 60% електроенергії виробляються енергоблоками з продовженим строком експлуатації*

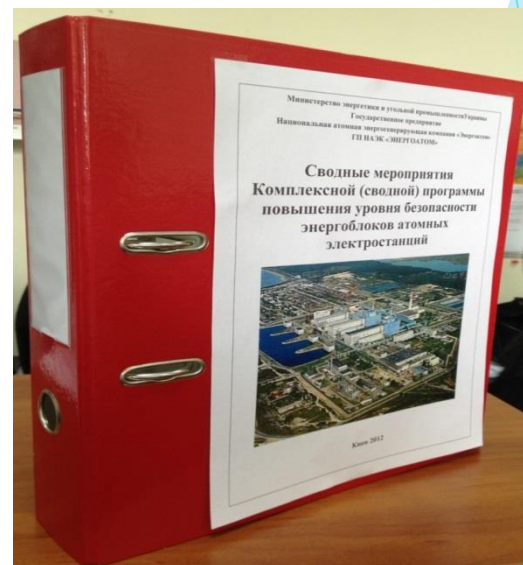
- ▶ Нові російські енергоблоки будуються вже з проектним строком експлуатації **60 років з можливістю його продовження**
- ▶ Росіянами для діючих окремих енергоблоків проводяться роботи з подовження експлуатації АЕС **понад 60 років**

# Продовження експлуатації енергоблоків АЕС

Продовження експлуатації енергоблоків - пріоритетний напрямок діяльності Компанії, передбачено в «**Енергетичній стратегії України на період до 2030 року**»

Роботи з продовження експлуатації енергоблоків виконуються згідно:

- ▶ «Комплексної (зведеної) програми підвищення рівня безпеки енергоблоків атомних електростанцій» (продовжено та внесені зміни постановою КМУ від 08.05.2019 р. № 390)
- ▶ «Комплексної програми робіт з продовження терміну експлуатації діючих енергоблоків АЕС»



# Строк експлуатації діючих енергоблоків України

АЕС	№ енергоблоку	Електрична потужність, МВт	Тип	Строк введення в експлуатацію	дата завершення проектного строку служби	Продовження експлуатації
ЗАЕС	1	1000	В-320	10.12.1984	23.12.2015	Строк експлуатації продовжено до <b>23.12.2025</b>
	2	1000	В-320	22.07.1985	19.02.2016	Строк експлуатації продовжено до <b>19.02.2026</b>
	3	1000	В-320	10.12.1986	05.03.2017	Строк експлуатації продовжено до <b>05.03.2027</b>
	4	1000	В-320	18.12.1987	04.04.2018	Строк експлуатації продовжено до <b>04.04.2028</b>
	5	1000	В-320	14.08.1989	27.05.2020	Роботи виконуються
	6	1000	В-320	19.10.1995	21.10.2026	Роботи плануються
ЮУАЕС	1	1000	В-302	31.12.1982	02.12.2013	Строк експлуатації продовжено до <b>02.12.2023</b>
	2	1000	В-338	09.01.1985	12.05.2015	Строк експлуатації продовжено до <b>31.12.2025</b>
	3	1000	В-320	20.09.1989	10.02.2020	Роботи виконуються
РАЕС	1	420	В-213	22.12.1980	22.12.2010	Строк експлуатації продовжено до <b>22.12.2030</b>
	2	415	В-213	22.12.1981	22.12.2011	Строк експлуатації продовжено до <b>22.12.2031</b>
	3	1000	В-320	21.12.1986	11.12.2017	Строк експлуатації продовжено до <b>11.12.2037</b>
	4	1000	В-320	10.10.2004	07.06.2035	Роботи плануються
ХАЕС	1	1000	В-320	22.12.1987	13.12.2019	Роботи виконуються
	2	1000	В-320	07.08.2004	07.09.2035	Роботи плануються

# Загальний склад робіт з продовження експлуатації

**Капітальні роботи:**  
*Модернізація,  
підвищення безпеки*

**Інжинірингові роботи  
(некапітального характеру):**  
обґрунтування ресурсу  
елементів енергоблоку,  
кваліфікація

**переоцінка безпеки  
енергоблоку**

**Ліцензія на ПСЕ**

**Розробка та погодження з  
Держатомрегулювання**

- Програми підготовки енергоблоку о ПСЕ;
- плану ліцензування;
- планів-графіків реалізації заходів;
- типових, робочих програм

**Реалізація програми управління старінням  
елементів і конструкцій енергоблоку, ОТС та  
перепризначення ресурсу систем та  
елементів:**

- **Елементи реактора, які включають КР, ВБ, ВКП та** ОЕ;
- системи та елементи 2-го контуру;
- трубопроводи та ємності, будівлі та споруди.

**Кваліфікація обладнання на сейсмічні та  
«жорсткі» умови оточення**

**Переоцінка безпеки енергоблоку, розробка  
Звіту з періодичної переоцінки безпеки  
(ЗППБ)**

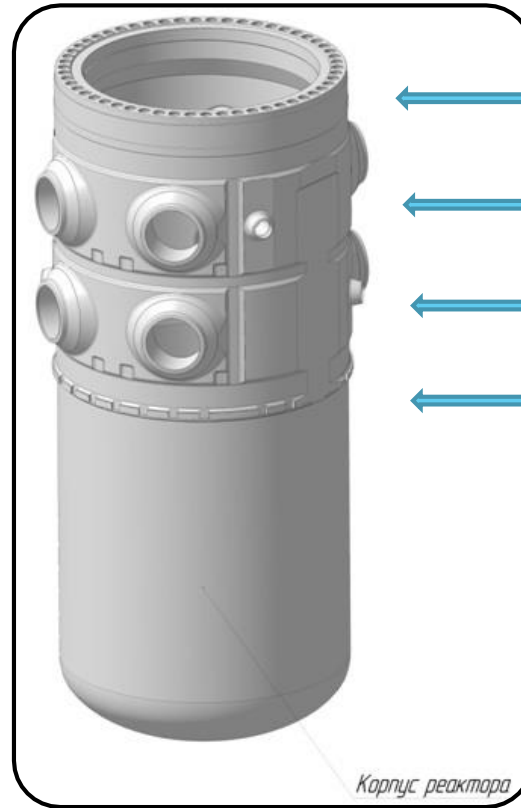
**Підготовка документів для внесення змін до  
ліцензії на експлуатацію ЯУ енергоблоку.**

# Корпус реактора

**Корпус реактора** - незамінний елемент АЕС тобто визначає максимально можливий строк експлуатації енергоблоку

## Основним вимогам до корпусу реактора є збереження цілісності

- при нормальній експлуатації,
- при порушенні нормальної експлуатації
- при аварійній ситуації протягом всього терміну експлуатації



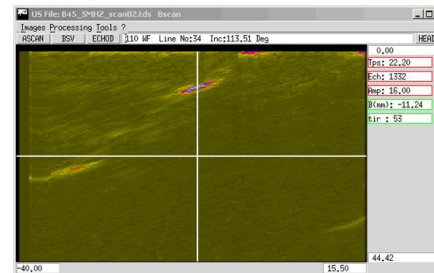
Радіаційне навантаження

Термічне навантаження

Циклічне навантаження

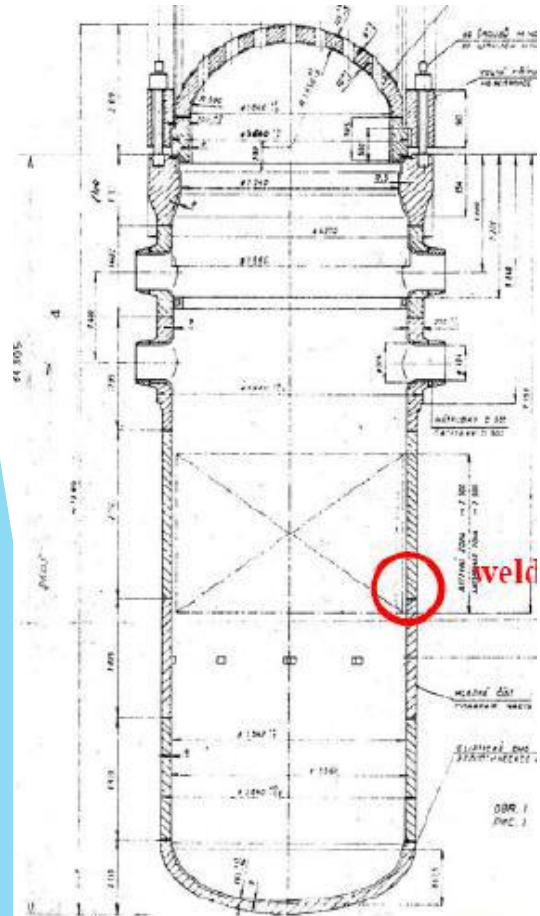
Інші фактори

Контроль стану металу КР здійснюється неруйнівними (візуальний та УЗК) та руйнівними методами за програмою зразків-свідків (ЗС).





# Зразки-свідки в енергоблоках ВВЕР-440



RPV VVER 440

1  
2  
3

4  
5



# Цілісність і безпечна експлуатація КР та шляхи подовження експлуатації

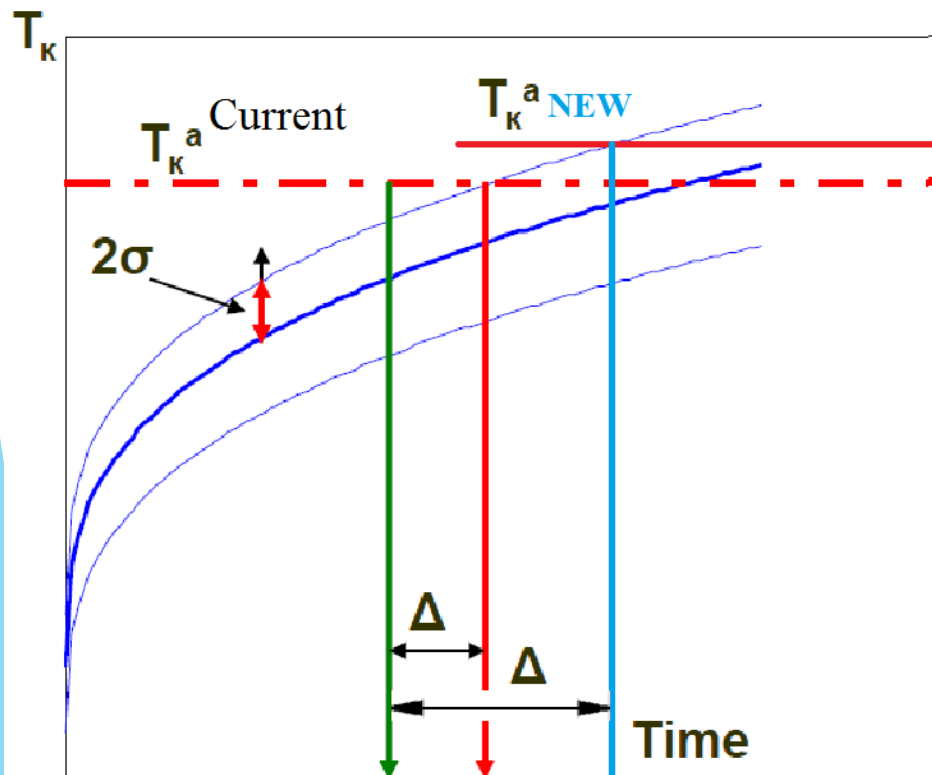
$$T_K < T_K^a$$

Отримання експериментальних даних за зразками-свідками

Визначення критичного стану металу (перехід до крихкого стану)

Розробка нових програм зразків-свідків

Вдосконалення нормативної документації



- $T_K$  - поточна критична температура крихкості металу КР,
- $T_K^a$  - допустима температура крихкості КР.

$$T_K = T_{K0} + \Delta T_F$$

- де:  $T_{K0}$  - критична температура крихкості в первинному стані;
- $\Delta T_F$  - зсув критичної температури крихкості під дією нейтронного опромінення

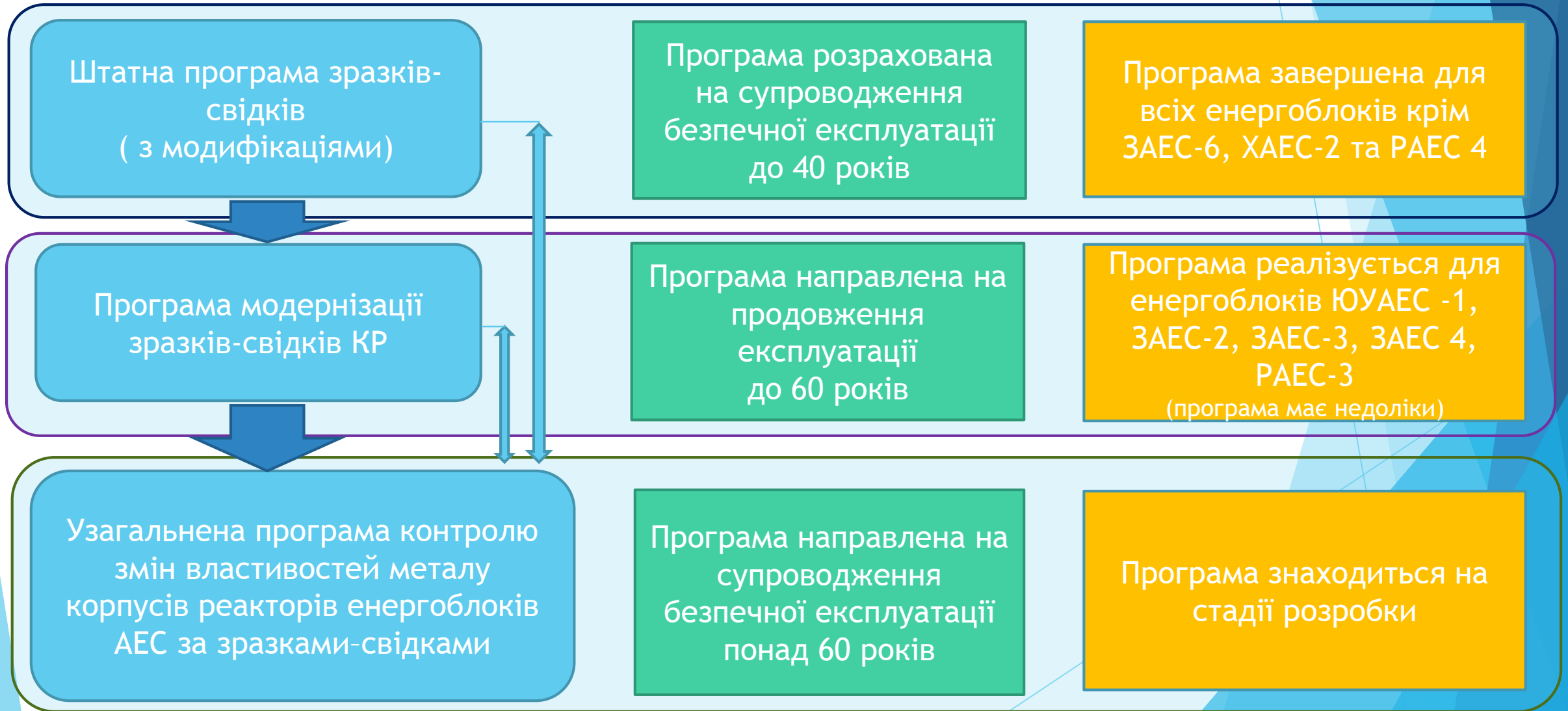
$$\Delta T_F = A_F \cdot (F/F_0)^{1/3},$$

- де:  $A_F$  - коефіцієнт радіаційного оукрихчування);  
 $F$  - значення флюенсу швидких нейтронів;  
 $F_0 = 1 \times 10^{22} \text{ м}^{-2}$

# Основна нормативна документація для проведення досліджень та аналізу результатів зразків-свідків

- ▶ ПНАЭ Г-7-002-86 «Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок»
- ▶ ПНАЭ Г-7-008-89 «Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок»
- ▶ UNIFIED PROCEDURE FOR LIFETIME ASSESSMENT OF COMPONENTS AND PIPING IN WWER NPPs “VERLIFE”
- ▶ Методика визначення радіаційного окрихчування металу корпусів реакторів за результатами випробувань зразків-свідків СОУ НАЕК 087:2015
- ▶ «Типовая программа контроля свойств металла корпусов реакторов ВВЭР-1000 по образцам-свидетелям ПМ-Т.0.03.120-18»
- ▶ Робочі програми контролю властивостей металу КР за зразками-свідками відповідного енергоблоку
- ▶ Програми модернізації відповідних блоків...

# Програми зразків-свідків КР ВВЕР



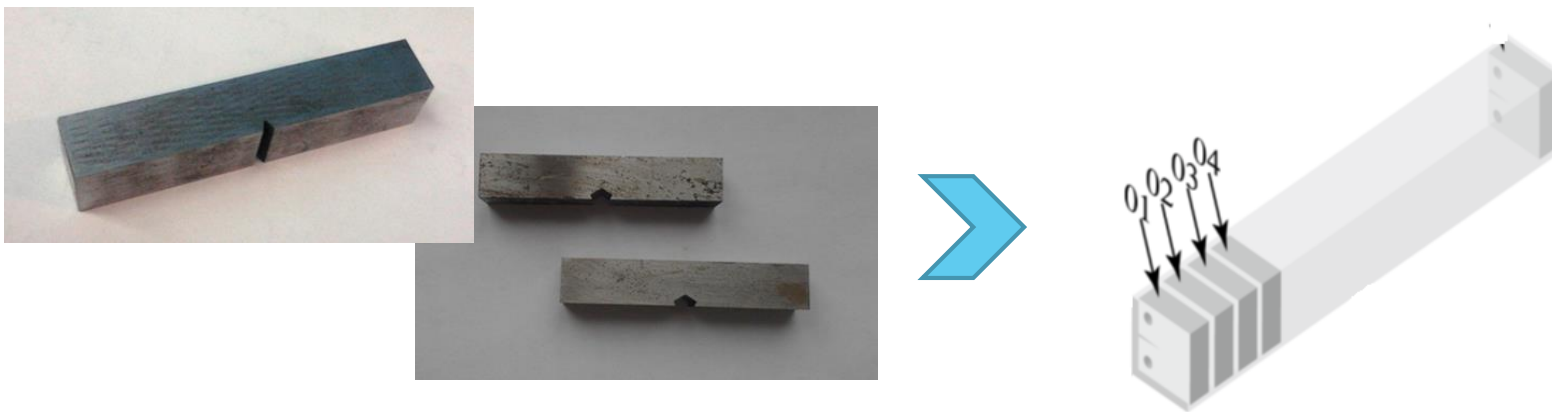
# Етапи реалізації узагальненої програми контролю змін властивостей металу корпусів реакторів енергоблоків АЕС за зразками-свідками (1)

- ▶ Оцінка наявності архівного матеріалу, щодо можливості застосування для подальших випробувань, умов опромінення ...;
- ▶ Впровадження додаткових заходів для кожного енергоблоку щодо робіт з виготовлення зразків, опромінення/доопромінення, додаткової модернізації контейнерних збірок зі ЗС та інше...
- ▶ Погодження з Держатомрегулювання визначення первинної температури  $T_{к0}$  матеріалів КР в неопроміненому стані за випробуваннями на в'язкість руйнування.

використання  $RT_0$  замість  $T_{к0}$

# Етапи реалізації узагальненої програми контролю змін властивостей металу корпусів реакторів енергоблоків АЕС за зразками-свідками (2)

- ▶ використання мініатюрних компактних зразків (0,16Т)\* С(Т), котрі можуть бути виготовлені з половинок зразків-свідків зразків Шарпі та COD



\* Толщина образца 0,16Т С(Т) - 4 мм

- ▶ впровадження оновленої методики визначення радіаційного навантаження на КР з урахуванням похибок і невизначеностей розрахунків енергоблоків АЕС України
- ▶ За необхідністю, опромінення зразків-свідків з використанням дослідного реактора ВВР-М

# Реалізація програм зразків-свідків з НАН України

- ▶ З огляду на економічні, політичні, технічні аспекти виникли при реалізації програми зразків-свідків компанією ДП НАЕК «Енергоатом» було прийнято рішення про оснащення «гарячих» камер ІЯД НАН України обладнанням після поставки якого стало можливо проводити роботи з випробувань штатних і реконструйованих зразків-свідків Матеріалознавчі аспекти розробок регулюючих документів у сфері ядерної безпеки



Зустріч Президента ДП НАЕК «Енергоатом»  
в ІЯД НАН України 14.06.2019



# Експериментальні методи та аналіз даних (I)

- ▶ Випробування на розтяг
  - ▶ Серво-електрична система для випробування матеріалів Instron 8862 з навантаженням 100 кН
  - ▶ Визначення характеристик міцності та пластичності матеріалів до та після опромінення
- ▶ Випробування на в'язкість руйнування
  - ▶ Серво-електрична система для випробування матеріалів Instron 8862 з навантаженням 100 кН
  - ▶ Визначення параметрів в'язкості руйнування матеріалів
  - ▶ Температурна залежність коефіцієнта інтенсивності напружень  $K_{Jc}$
  - ▶ Оцінка референсної температури  $T_0$  та її зсуву внаслідок опромінення та термічного старіння





## Експериментальні методи та аналіз даних (II)

---

- ▶ Випробування на ударний вигин
  - ▶ Маятниковий копер з максимальною енергією удару 300 Дж
  - ▶ Визначення температурної залежності ударної в'язкості (крива Шарпі)
  - ▶ Оцінка температури крихкості металу  $T_K$  та її зсуву внаслідок опромінення ( $\Delta T_F$ ) і термічного старіння ( $\Delta T_T$ )

# Експериментальні методи та аналіз даних (III)

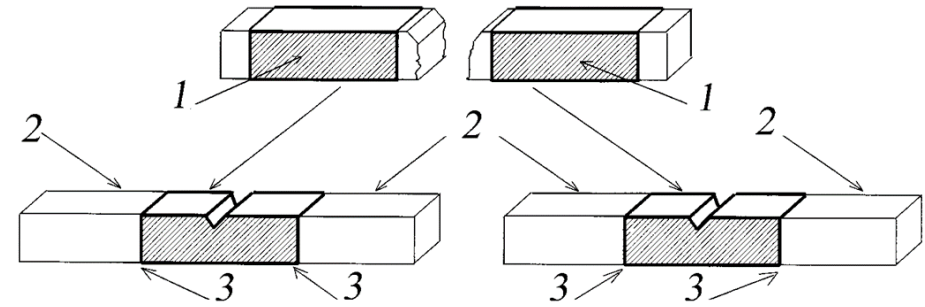
---



GDS 500A

- ▶ Визначення хімічного складу металу корпусу реактора
  - ▶ Спектрометр GDS 500A
  - ▶ Метод фотоелектричного спектрального аналізу
- ▶ Металографічний аналіз
  - ▶ Мікроскоп МИМ-10
  - ▶ Метод світлової мікроскопії

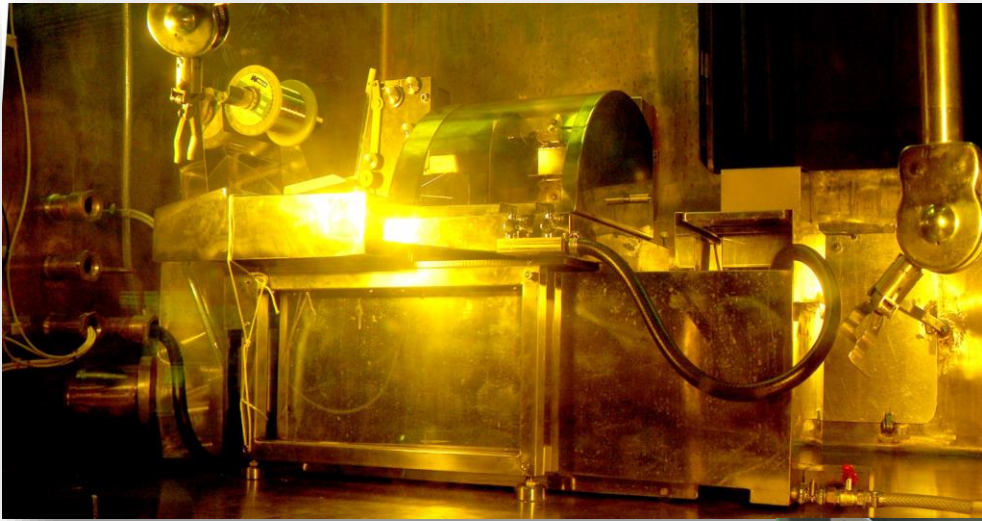
# Технологія реконструкції



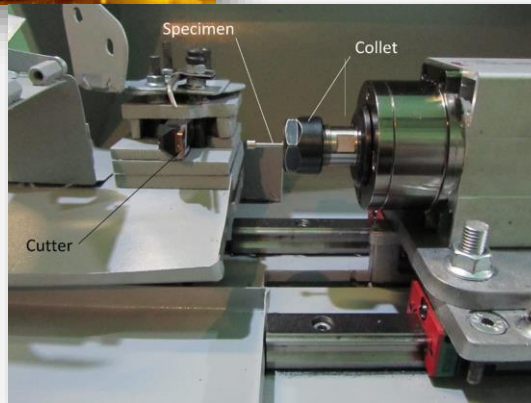
- 1 – the insert of the tested RS half
- 2 – the tail-ends of non-irradiated vessel steel
- 3 - the welding seam

- ✓ Обладнання для електронно-променевого зварювання
- ✓ Електроерозійний станок для нанесення механічних надрізів
- ✓ Шліфувальний станок
- ✓ Серво-гідравлічна система для нанесення тріщини втоми на зразки механіки руйнування

# обладнання для виготовлення зразків



Електроерозійний верстат

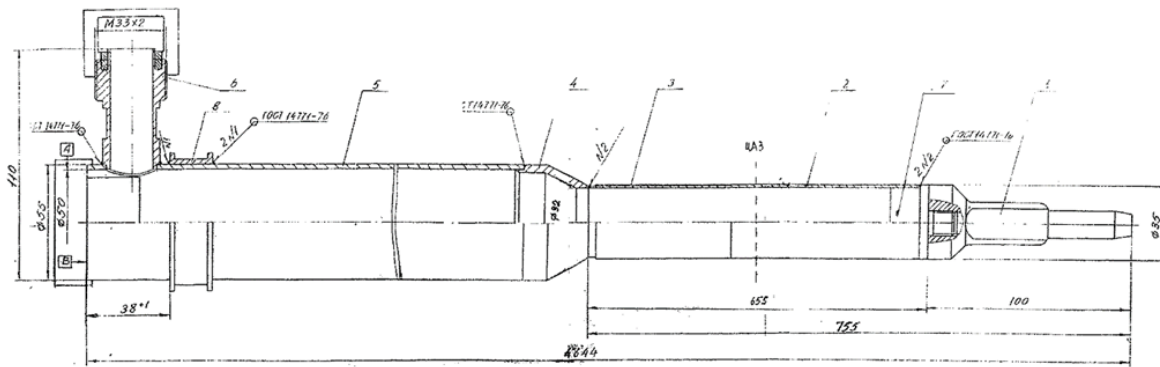


Токарний верстат



# Опромінення зразків в дослідному реакторі ВВР-М ІЯД НАН України.

*Впроваджено проект щодо виготовлення матеріалознавчого каналу з керованою температурою опромінення від 100 до 500 °С*



Дослідницький реактор потужністю 10 МВт з максимальним потоком нейтронів в активній зоні до  $1,2 \cdot 10^{14}$  н/(см<sup>2</sup>\*с).

# Висновки

- ▶ На даний час продовження експлуатації енергоблоків є пріоритетним напрямком діяльності Компанії
- ▶ ВП НТЦ ДП НАЕК «Енергоатом» сумісно з Інститутом ядерних досліджень НАН України має науковий потенціал та технічні можливості виконувати роботи з матеріалознавчого супроводу КР ВВЕР для забезпечення безпечної експлуатації енергоблоків України
- ▶ За результатами «Узагальненої програми контролю змін властивостей металу корпусів реакторів енергоблоків АЕС за зразками-свідками на період понад проектної експлуатації» компанія буде мати можливість супроводжувати безпечну експлуатацію корпусів реакторів **на строк понад 60 років.**

*Дякую за увагу*

Відділ радіаційного матеріалознавства  
ВП «Науково-технічний центр» ДП «НАЕК «Енергоатом»  
Чалий Едуард, Гринченко Геннадій, Тригубенко  
Олександр