

## АЕС НОВОГО ПОКОЛІННЯ В УКРАЇНІ

*Приведено порівняльну характеристику проекту реакторної установки В392, який є продуктом еволюційного розвитку проекту В320. Виконано порівняння основного обладнання проектів, та систем захисту, які спрямовані на підвищення безпеки й економічності*

*Ключові слова: АЕС, енергоблок, безпека, реактор*

*Приведена сравнительная характеристика проекта реакторной установки В392, который является продуктом эволюционного развития проекта В320. Выполнено сравнение основного оборудования проектов и систем защиты, которые направлены на повышение безопасности и экономичности*

*Ключевые слова: АЭС, энергоблок, безопасность, реактор*

*The comparative characteristics of the project В392 is shown. This project is a product of evolutionary development draft В320. A comparison of the main equipment projects and systems of protection that are aimed at improving safety and efficiency is being made*

*Keywords: nuclear power station, the power unit, safety, reactor*

**О.Л. Коцуба\***

Контактний тел.: 097-187-15-67

E-mail: sachazxcvb@mail.ru

**Д.О. Василик\***

Контактний тел.: 067-903-75-40

E-mail: dimzzikk@ukr.net

\*Кафедра атомних електростанцій та інженерної теплофізики

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»  
пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна 03056

### Вступ

Розвиток ядерної енергетики характеризується пріоритетним завданням підвищення безпеки діючих АЕС і створення реакторів підвищеної безпеки для АЕС нового покоління. Перспектива ядерної енергетики визначається можливістю гарантованої безпеки населення й навколишнього середовища. Високий рівень безпеки досягається за рахунок удосконалення активних і введення пасивних захисних систем, а також послідовної реалізації концепції внутрішньої безпеки. Створення реакторів нового покоління, що володіють властивостями самозахисту, дозволяє забезпечити стійкість до відмов обладнання й помилок персоналу, обмежити радіаційні наслідки найважчих аварій, виключити необхідність евакуації населення [1].

Спорудження енергоблоків № 3,4 Хмельницької АЕС передбачається з використанням існуючих споруджень реакторного відділення, резервної дизельної електростанції і інших об'єктів, безпосередньо пов'язаних з реакторним відділенням, які перебувають у стадії незавершеного будівництва. Тому в проєкті повинні бути розглянуті проєктні рішення які передбачають використання існуючих будівель і приміщень для нового обладнання і додаткових систем безпеки, без яких будівництво нових енергоблоків в Україні неможливе.

Навіть найвищі вимоги до якості обладнання, рівня підготовки персоналу не здатні виключити аварійні си-

туації, це вимагає застосування спеціальних мп і систем забезпечення безпеки. У нових проєктах АЕС України передбачено застосування додаткових пасивних систем безпеки і нового удосконаленого обладнання які суттєво знижують імовірність виникнення небажаної події, а у випадку виникнення зменшують її наслідки.

Метою даної статті є показати доцільність спорудження енергоблоків з реакторною установкою В392 в Україні.

### Порівняльна характеристика

Проведемо порівняльну характеристику діючих енергоблоків України з реакторною установкою В320 і нові проєкти Хмельницьких 3, 4 енергоблоків України з реакторною установкою В392В.

Розроблювальні проєкти базуються на основі серійної реакторної установки із ВВЕР-1000 і мають подібні основні параметри, наведені нижче в табл. 1.

У реакторних установках, застосованих у нових проєктах українських блоків, реалізовані наступні інновації (у порівнянні із проєктом серійної реакторної установки):

#### 1. Удосконалений реактор

Відмінність корпусу вдосконаленого реактора від корпусу реактора В320 полягає в тому, що довжина корпусу вдосконаленого реактора збільшена на 300 мм за рахунок збільшення довжини опорної обичайки. Що дозволяє: знизити дозові навантаження на персо-

нал при обслуговуванні реактора, ГЦНа й парогенератора.

Довжина шахти збільшена на 300 мм і змінено розташування отворів у зоні перфорації циліндричної частини шахти, пружний притискної елемент перенесений з торця фланця шахти на опорний бурт БЗТ, що спрощує обслуговування притискного елемента й розвантажує пружинні блоки ТВЗ від ваги БЗТ.

**Таблиця 1**

**Основні технічні характеристики удосконаленої реакторної установки В-392, застосованої в нових проектах і базової реакторної установки В-320**

Найменування	Значення	
	В320	Удосконалений реактор В392
1	2	3
Теплова потужність реактора, МВт	3000	3000
Витрата теплоносія через реактор, м <sup>3</sup> /год.	84800	84800
Тиск теплоносія на виході з активної зони, МПа	15,7	15,7
Середня температура теплоносія на виході з реактора, °С	320	321
Температура теплоносія на вході в реактор, °С	289,7	291
Перепад тиску на реакторі, МПа	0,38	0,38
Призначений термін служби реактора, років	30	40
Час перебування касет в активній зоні, роки	3	3-4
Прохідний переріз активної зони, м <sup>2</sup>	4,17	4,14
Середня глибина вигорання палива в касеті (у стаціонарному паливному циклі), МВт· доба/кг	40,1	43,0
Середня лінійна щільність енерговиділення із ТВЕЛа при номінальному режимі, Вт/см	166,2	166,6
Максимальний розрахунковий флюєнс швидких нейтронів з енергією > 0,5 МеВ на корпус за 40 років, нейтр/м <sup>2</sup>	5,7x10 <sup>23</sup>	
Кількість приводів, шт., максимальне	61	121
Інтервал відліку положення робочого органа, мм:		
- зонний;	350	350
- кроковий	-	20

Реалізована оптимізація розміщення охолоджувальних каналів вигородки. Що дозволяє зменшити максимальні значення радіаційного тепловиділення і температурних напруг у кільцях вигородки, і відповідно, радіаційне розбухання і пошкоджуваність металу вигородки.

Збільшена відстань між середньою й верхньою плитами БЗТ на 250 мм. Це дозволило збільшити радіуси гибів напрямних каналів, у яких розміщуються СВРД, і вивести всі канали через стійки ВРК у периферійні патрубки ВБ.

Збільшено (з 61 до 121 шт.) кількість захисних труб з напрямним каркасом у зв'язку зі збільшенням кількості робочих органів.

**2. Удосконалений парогенератор**

У нових проектах застосовані парогенератори ПГВ-1000М. В останній модифікації парогенератора реалізовані наступні заходи:

- колектор виготовляється зі сталі 10ГН2МФА електрошлакового переплава, тобто сталі підвищеної чистоти з погляду забруднення неметалічними домішками;

- вальцювання вибухом замінено на гідравлічне запресовування труб з наступним механічним довальцюванням вихідних ділянок з метою виключення недовальцьованих щілин;

- модернізована система водоживлення та продувки ПГ. У результаті проведених технологічних і конструкторських заходів були значно знижені залишкові напруги в колекторі, що зіграло найважливішу роль у підвищенні надійності та ресурсу.

**3. Привод СУЗ КЕМ-3:**

- збільшена висота ребра головки ПС СУЗ з 25 до 35 мм і збільшена маса ПС СУЗ із 16 до 18,5 кг із метою зменшення ймовірності «зависання» падаючого робочого органа при спрацьовуванні аварійного захисту;

- кількість ПС СУЗ (і, відповідно, сумарна ефективність робочих органів), установлюваних в удосконаленому реакторі, істотно більше, ніж у реакторі В-320, що дозволяє збільшити надійність і безпеку в порівнянні з реактором В-320. Так на перше паливне завантаження в реакторі В-392 передбачається встановити 85 робочих органів, на стаціонарне паливне завантаження - 103 робочих органів, а в реакторі В-320 установлений 61 робочий орган.

**4. Головний циркуляційний насосний агрегат ГЦНА-1391**

На відміну від ГЦН-195М, що має суцільнолитую конструкцію спірального корпусу насоса, корпус насоса ГЦНА-1391 виконаний у вигляді сферичної штампозварної конструкції. Змінено конструкцію головного роз'єму ГЦНА, що у цей час виконується у вигляді двох плоских прокладок спеціальної конструкції, виконаних з матеріалу Графлекс.

Змінено конструкцію головного роз'єму ГЦНА, що у цей час виконується у вигляді двох плоских прокладок спеціальної конструкції, виконаних з матеріалу Графлекс.

При переході на воду як мастильно-охолодна рідина мінімальний розрахунковий зазор у гідродинамічному клині зменшується в 10 разів. З огляду на допуски на виготовлення, фактичну шорсткість робочих поверхонь, а також деформації контактуючих поверхонь, можна зробити вивід, що пари тертя працюють в безпосередньому контакті в напіврідинному режимі тертя.

На відміну від електродвигунів, що перебувають в експлуатації, електродвигуни, призначені для нового проекту ХАЕС, виконуються зі змащенням вогнестійким маслом ОМТИ, що значно підвищує пожежобезпечність.

**5. Концепція «Течія перед руйнуванням»**

Впровадження цієї концепції знижує ймовірність розривів трубопроводів, тому що раннє виявлення течі дозволяє вжити своєчасних заходів для запобігання аварії. Всі ділянки трубопроводу є доступними для контролю під час експлуатації, що підвищує надійність трубопроводу й знижує дозові наван-

таження на персонал, поліпшується компонування приміщень, контроль протічок теплоносія й стану металу [2].

#### 6. Використання пасивних систем безпеки

При пошуку технічних рішень, спрямованих на досягнення якісно нового рівня безпеки, це можливо на основі розвитку інженерних принципів захисту в глибину. Методологічною основою «захисту в глибину» є інтегрований підхід до оцінки безпеки, що опирається на проведені додаткові детерміністичні й імовірнісні аналізи безпеки, на результати постійно проведених науково-дослідних робіт, а також на досвід при практичній реалізації проекту. Ядром принципу «захисту в глибину» залишається добре зарекомендувавший себе принцип, глибокоошелюваного захисту. Наявні пасивні системи безпеки в даному проекті це ГС-2, СПОТ [3].

Реактор і допоміжні системи першого контуру встановлюються в середині не однієї, а двох циліндричних захисних оболонок: внутрішньої, розрахованої на повний тиск під час аварії; зовнішньої, розрахованої на всі екстремальні зовнішні впливи; між оболонками є контрольований кільцевий зазор. У захисних оболонках передбачений транспортний шлюз для транспортування корпусу реактора, парогенераторів. Паливний басейн перебуває в об'ємі внутрішньої захисної оболонки й розрахований на зберігання відпрацьованого палива протягом 10 років.

Суттєві відмінності В392 апарату від В320 викликають запитання про придатність існуючих конструкцій на найбільш перспективному майданчику ХАЕС. Третій і четвертий блоки Хмельницької АЕС спочатку повинні були споруджувати за проектом В320, проте невідомо за рахунок яких проектувальних ідей реакторну установку В392 мають помістити в наявні конструкції проекту В320. Навіть просте зіставлення геометричних розмірів реакторного відділення показує, що існуюче компонування не дозволяє розмістити в них нові системи безпеки. Також дуже гостро стоїть питання придатності цих

конструкцій через те що 22 роки тому на елементах захисної оболонки третього блоку відбулася пожежа. Вогнем були пошкоджені напрямні канали під армоканати попереднього напруження захисної оболонки. Під впливом вологи та температури незахищені залізні, залізобетонні, бетонні конструкції стали ослабленими або взагалі непридатними. Ці фактори викликають необхідність аналізу цілісності та міцності цих будівельних конструкцій. Можливо буде обраний шлях яким пішла Болгарська АЕС «Белене» – демонтаж наявних конструкцій. Це все потребує економічного аналізу, також потрібно прийняти до уваги проблеми, з якими зіткнулися росіяни при добудові іранської АЕС «Бушер» по «чужому» проекту, це також є аргументом на користь подібного рішення.

---

#### Висновки

---

Аналізуючи характеристики і нововведення проекту з реакторною установкою В392 помітно, що рівень безпеки даного проекту суттєво перевищує рівень безпеки проекту з реакторною установкою В320. Допущення розвитку найважчих аварійних ситуацій на АЕС, будова та характеристики бар'єрів безпеки практично виключають можливість виходу активності за межі контейнента та майданчика атомної станції.

Внутрішні властивості самозахисності, використання надійних автономних джерел живлення і застосування пасивних і комбінованих активно-пасивних систем захисту роблять безпеку цієї АЕС більш стійкою до дії таких аварійних ситуацій, як повне відключення подачі електроенергії на системи станції.

Ми впевнені, що після введення в експлуатацію енергоблоків з реакторною установкою В392 атомна енергетика України займе одне з провідних місць в світі по безпечності атомних енергоблоків.

---

#### Література

1. Направления совершенствования РУ с водо-водяными реакторами для энергоблоков большой мощности [Текст] : материалы II научно-технической конференции «Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР», 18 мая 2001 г. Подольск / отв.ред. В.В. Егоров.- Подольск: Виадук, 2001. - 58с.
2. Основные технические решения по повышению безопасности и экономичности оборудования реакторных установок для АЭС «Тяньвань», «Бушер» и II очереди НВАЭС [Текст] материалы II научно-технической конференции «Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР», 27 мая 2003 г. Подольск / отв.ред. А.И. Репин.-Подольск: Виадук, 2003. - 45с.
3. Свириденко И.И., Внедрение новейших технологий для создания пассивных систем безопасности ядерных реакторов – закономерный процесс развития ядерной энергетики [Текст] : монография / И.И. Свириденко, В.Е. Домашев, Е.Д. Домашев. - К.: Знання України, 2004 г., 145 с.