

В. О. Посох<sup>1</sup>, В. В. Інюшев<sup>1</sup>, А. С. Колядюк<sup>1</sup>, А. С. Кошмак<sup>1</sup>, В. О. Дубковський<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ДП «Державний науково-інженерний центр систем контролю та аварійного реагування», просп. Героїв Сталінграда, 64/56, м. Київ, 04213, Україна

<sup>2</sup>Одеський національний політехнічний університет, просп. Шевченка, 1, м. Одеса, 65044, Україна

## Порівняльний аналіз методичних підходів до розрахункового визначення зусиль, що діють на опорні елементи реактора ВВЕР-1000

### Ключові слова:

опорні елементи реактора, корпус реактора, продовження строку експлуатації, розрахункове обґрунтування безпечної експлуатації, жорсткісні характеристики.

Наведено результати порівняльного аналізу методичних підходів до розрахункового визначення зусиль, що діють на опорні елементи через корпус реактора від приєднаних головних циркуляційних трубопроводів і трубопроводів системи аварійного охолодження активної зони реактора: варіант 1 — з урахуванням у розрахунковій моделі жорсткостей усіх опорних елементів (уперше був застосований при продовженні строку експлуатації енергоблока № 1 Відокремленого підрозділу (ВП) «Хмельницька АЕС»); варіант 2 — з урахуванням у розрахунковій моделі жорсткостей тільки кільця опорного та кільця упорного (застосовувався, зокрема, під час розрахункових обґрунтувань у рамках продовження строку експлуатації енергоблока № 3 ВП «Запорізька АЕС»). Порівняльний аналіз результатів розрахунків реакцій опор показав, що різниця досягає вагомих значень як у відсотковому співвідношенні (до 120%), так і в чисельному вираженні (до 844 кН · м). З метою оцінки значимості результатів розрахунку реакцій опор проведено оцінку зміни напружено-деформованого стану на прикладі кільця опорного. Результати свідчать про наявність надлишкового консерватизму під час розрахунку напружень за варіантом 2 (до 30%).

### Вступ

В умовах експлуатації енергоблоків АЕС України та їхніх елементів у понадпроектний строк питання безпечної та надійної експлуатації набуває підвищеної актуальності.

Враховуючи значний розвиток обчислювальних методів, існує потреба в удосконаленні підходів до питань розрахункового обґрунтування безпечної експлуатації елементів АЕС. При виконанні розрахункових аналізів з обґрунтування продовження строку експлуатації опорних елементів (ОЕ) корпусу реактора (розрахунок на статичну, циклічну міцність, сейсмічні впливи тощо),

одним із початкових етапів є необхідність визначення зусиль (реакцій сил і моментів у різних напрямках) на кільце упорне, кільце опорне і сільфон розділяючий, що передаються від трубопроводів системи аварійного охолодження активної зони реактора (САОЗ) і головних циркуляційних трубопроводів (ГЦТ) [1].

Як показує досвід раніше виконаних робіт [1], задача визначення зусиль на ОЕ вирішувалась аналітично, і при цьому не враховувались деякі особливості. Одним із основних некоректних припущень, на наш погляд, є те, що безпосередньо в розрахунковій схемі не враховувався вплив сільфона розділяючого. Це вносило додаткову похибку в результати визначення

© В. О. Посох, В. В. Інюшев, А. С. Колядюк, А. С. Кошмак, В. О. Дубковський, 2020

розподілу зусиль між ОЕ. У цій роботі ми оцінювали вплив урахування сильфона розділяючого на результати розрахунку зусиль для ОЕ і безпосередньо напружено-деформованого стану ОЕ.

**Порівняння результатів розрахунків реакцій опор для різних підходів до визначення зусиль, що діють на ОЕ**

Нижче наведено результати порівняльного аналізу двох підходів до розрахункового визначення зусиль, які діють на ОЕ через корпус реактора від приєднаних трубопроводів САОЗ та ГЦТ.

У роботі [3] проводився аналіз удосконалених методичних підходів до визначення зусиль на ОЕ, які вперше були застосовані при продовженні строку експлуатації енергоблока № 1 відокремленого підрозділу (ВП) «Хмельницька АЕС». У цій статті запропоновані в роботі [3] методичні підходи порівнюються з методами розрахунку зусиль на ОЕ, які застосовувалися при розрахункових обґрунтуваннях у рамках робіт із продовження строку експлуатації енергоблока № 3 ВП «Запорізька АЕС».

Попередній аналіз геометричних параметрів опорних та упорних елементів показав, що основне несуче навантаження припадає на ОЕ, що обмежують як вертикальні, так і горизонтальні переміщення, а також запобігають кутовим переміщенням корпусу реактора.

За першого підходу (енергоблок № 1 ВП «Хмельницька АЕС») під час визначення зусиль на ОЕ було побудовано розрахункову модель взаємодії корпусу реактора та ОЕ з урахуванням відповідних жорсткостей ОЕ (кільця опорного, кільця упорного і сильфона розділяючого). Розрахункова модель, яка відображає взаємодію корпусу реактора і ОЕ для першого підходу, представлена на рис. 1.

За другого підходу (енергоблок № 3 ВП «Запорізька АЕС») під час визначення зусиль на ОЕ було побудовано розрахункову модель взаємодії корпусу реактора та ОЕ з урахуванням жорсткостей кільця опорного та кільця упорного. Для визначення зусиль  $Q_s$  на сильфон розділяючий використовувалося співвідношення

$$Q_s = R_U \cdot \frac{C_s}{C_s + C_U}, \tag{1}$$

де  $R_U$  — зусилля на упорний вузол,  $C_s$  — відповідна жорсткість сильфона,  $C_U$  — жорсткість кільця упорного.

Розрахункова модель, яка відображає взаємодію корпусу реактора і ОЕ для другого випадку, представлена на рис. 2.

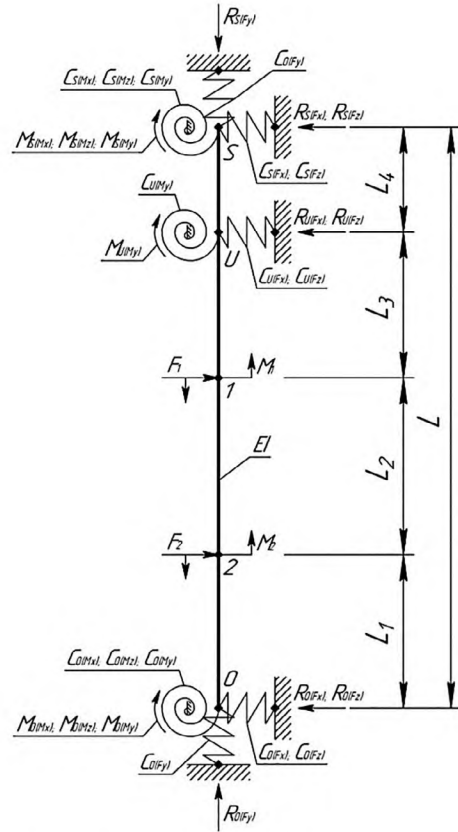


Рис. 1. Загальна модель взаємодії корпусу реактора і ОЕ (для першого розглянутого підходу)

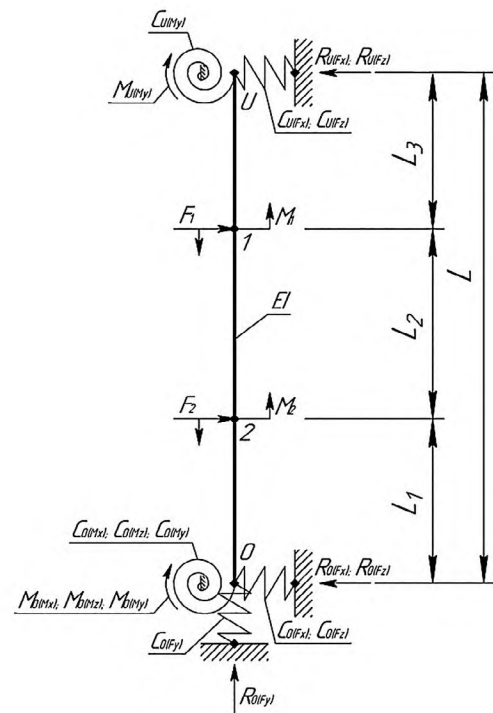


Рис. 2. Загальна модель взаємодії корпусу реактора і ОЕ (для другого розглянутого підходу)

Індекси  $O$ ,  $U$  і  $S$  означають належність параметрів кільця опорного, кільця упорного і сільфона розділяючого відповідно. Цифрами 1 і 2 позначено точки прикладання зведених зусиль від гарячих та холодних патрубків відповідно.

У табл. 1 наведено позначення, які використані на рис. 1 та 2.

Задачі вирішували за допомогою методу скінченних елементів з використанням балочної моделі корпусу реактора. У розрахункових моделях податливість ОЕ враховувалася шляхом завдання їм жорсткостей

у горизонтальному (по осях  $X$  та  $Z$ ) і вертикальному (по осі  $Y$ ) напрямках, а також згинальній (відносно осей  $X$  та  $Z$ ) і крутній (відносно осі  $Y$ ) жорсткостей. Корпус реактора моделювався як податливий стрижень із внутрішнім діаметром 4138 мм та зовнішнім 4530 мм.

Для порівняльного аналізу було проведено розрахунок зусиль на ОЕ реактора від приєднаних трубопроводів для розрахункового стану «Робота реактора на повній потужності» двома вищеописаними підходами. Результати розрахунків реакцій опор ОЕ наведено в табл. 2. Порівняння результатів наведено в табл. 3.

**Таблиця 1. Позначення, використані на рис. 1 та 2**

Позначення	Визначення
$C_{O(Fx)}$ , $C_{U(Fx)}$ , $C_{S(Fx)}$	Жорсткості кільця опорного, кільця упорного та сільфона розділяючого відповідно в горизонтальному напрямку (по осі $X$ )
$C_{O(Fz)}$ , $C_{U(Fz)}$ , $C_{S(Fz)}$	Жорсткості кільця опорного, кільця упорного та сільфона розділяючого відповідно в горизонтальному напрямку (по осі $Z$ )
$C_{O(Fy)}$ , $C_{S(Fy)}$	Жорсткості кільця опорного та сільфона розділяючого відповідно у вертикальному напрямку (по осі $Y$ )
$C_{O(Mx)}$ , $C_{S(Mx)}$	Згинальна жорсткість кільця опорного та сільфона розділяючого відповідно (відносно осі $X$ )
$C_{O(Mz)}$ , $C_{S(Mz)}$	Згинальна жорсткість кільця опорного та сільфона розділяючого відповідно (відносно осі $Z$ )
$C_{O(My)}$ , $C_{U(My)}$ , $C_{S(My)}$	Тангенціальна жорсткість КО, КУ та сільфона розділяючого відповідно (відносно осі $Y$ )
$EI$	Жорсткість корпусу реактора
$R_O$ , $R_U$ , $R_S$	Реакція кільця опорного, кільця упорного та сільфона розділяючого відповідно
$M_O$ , $M_U$ , $M_S$	Реакція моменту кільця опорного, кільця упорного та сільфона розділяючого відповідно
$L_1$	Відстань від кільця опорного до холодних патрубків
$L_2$	Відстань від холодних патрубків до гарячих
$L_3$	Відстань від гарячих патрубків до кільця упорного
$L_4$	Відстань від кільця упорного до сільфона розділяючого
$L$	Відстань від кільця опорного до сільфона розділяючого

**Таблиця 2. Значення реакцій опор ОЕ**

Опорні елементи	$R_{O(Fx)}$ , кН	$R_{O(Fy)}$ , кН	$R_{O(Fz)}$ , кН	$M_{O(Mx)}$ , кН·м	$M_{O(My)}$ , кН·м	$M_{O(Mz)}$ , кН·м
Робота реактора на повній потужності (при використанні першого підходу)						
Кільце опорне	272,02	-162,55	159,88	-182,3	-5045,76	372,3
Кільце упорне	-239,6	0	-211,10	0	-11194	0
Сільфон розділяючий	-5,21	~ 0	-3,67	-0,20	-3086,9	0,36
Робота реактора на повній потужності (при використанні другого підходу)						
Кільце опорне	272,25	-162,55	160,04	-182,77	-5889,67	372,96
Кільце упорне	-242,72	0	-212,86	0	-10522,8	0
Сільфон розділяючий	-2,36	0	-2,07	0	-2914,57	0

Таблиця 3. Порівняння результатів розрахунків реакцій опор для двох підходів (різниця  $\Delta$  — (Var 2 — Var 1) / Var 2)

Опорні елементи	$\Delta R_{O(Fx)}, \%$	$\Delta R_{O(Fy)}, \%$	$\Delta R_{O(Fz)}, \%$	$\Delta M_{O(Mx)}, \%$	$\Delta M_{O(My)}, \%$	$\Delta M, \%$
Кільце опорне	0,08	0	0,10	0,26	14,33	0,18
Кільце упорне	1,29	0	0,83	0	-6,38	0
Сильфон розділюючий	-120,76	0	-77,29	0	-5,91	0

Примітка. Var 1 — значення реакцій опор отримане при використанні першого підходу; Var 2 — значення реакцій опор, отримане під час використання другого підходу.

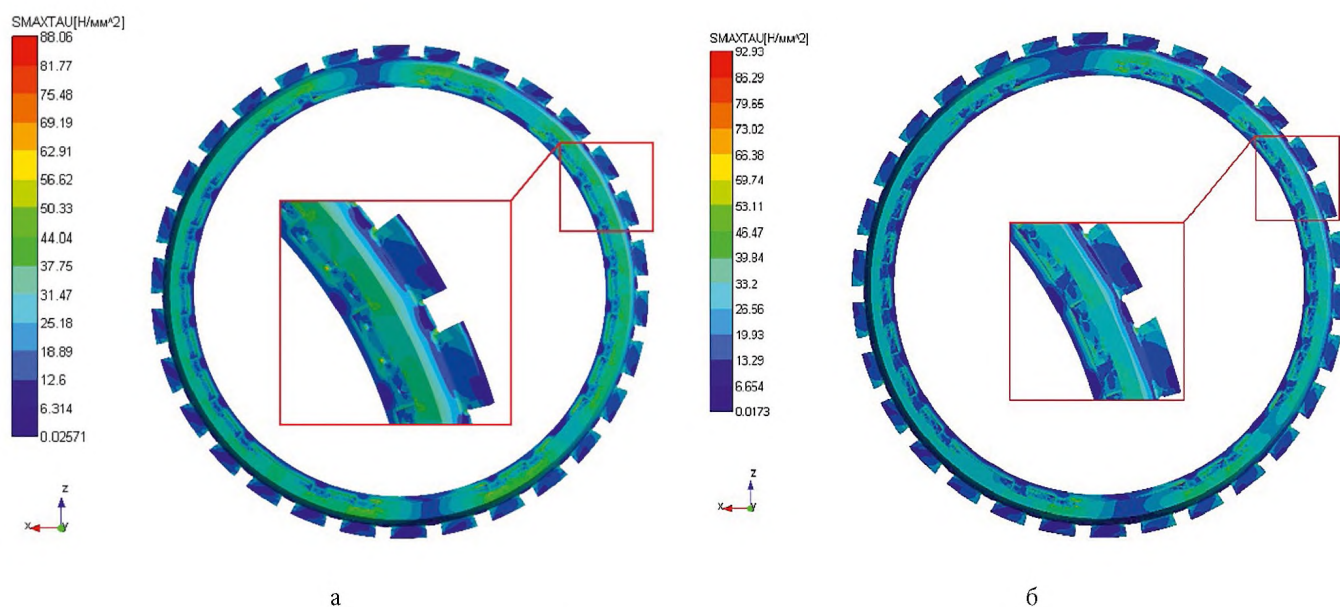


Рис. 3. Розподілення напружень у кільці опорному: а — для першого варіанта, б — для другого варіанта

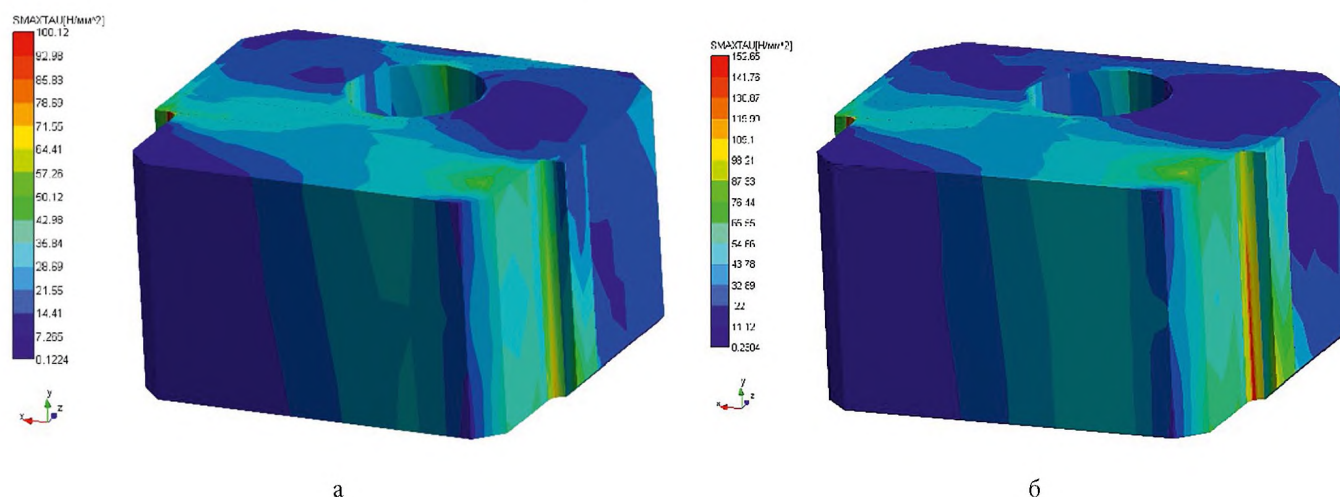


Рис. 4. Розподілення напружень у шпонці кільця опорного: а — для першого варіанта, б — для другого варіанта

Як видно, результати розрахунку значень зусиль, отриманих із використанням другого підходу (з урахуванням у розрахунковій моделі жорсткостей тільки кільця опорного та кільця упорного) відрізняються від значень зусиль, розрахованих із використанням першого підходу (з урахуванням у розрахунковій моделі жорсткостей усіх ОЕ), і в окремих випадках різниця сягає 120% (для сільфона розділяючого). Але при цьому максимальна зміна в чисельному вираженні спостерігається у визначеному моменті відносно осі реактора  $M_{O(My)}$  для кільця опорного і становить 844 кН·м. З метою оцінки значимості вищенаведених результатів розрахунку реакцій опор ОЕ далі проводиться оцінка зміни напружено-деформованого стану для кільця опорного.

### Аналіз статичної міцності кільця опорного з використанням різних підходів до визначення зусиль, що діють на ОЕ

Розрахунок статичної міцності кільця опорного виконувався за допомогою методу скінченних елементів. На основі проектно-конструкторської документації [16] були побудовані розрахункові моделі. У розрахункових моделях також моделювалась частина корпусу реактора. Для вирішення задач напружено-деформованого стану кільця опорного використовувалась модель, яка застосовувалась для розрахунку жорсткості. Опис розрахункових моделей наведений в роботі [2].

Для кільця опорного при дії зусиль від патрубків корпусу реактора і власної ваги реактора в розрахунковій моделі було задано граничні умови:

у місцях встановлення клинів задано раніше визначену їхню жорсткість;

на внутрішню частину корпусу реактора задано віддалене навантаження у вигляді зусиль на кільце опорне від патрубків корпусу реактора і власної ваги реактора.

Напружено-деформований стан кільця опорного і шпонки кільця опорного для розрахункового стану «Робота реактора на повній потужності» для двох варіантів розрахунків наведено на рис. 3 та 4.

Як видно з отриманих результатів, напруження в кільці опорному та шпонці для першого варіанта розрахунку зусиль є меншими, і їх можна вважати менш консервативними. Також одним з базових результатів розрахунку кільця опорного є значення зусиль, що діють на ферму опорну, фіксатори та клини.

Розподіли вертикальних зусиль на балки ферми опорної для розрахункового стану «Робота реактора

на повній потужності» наведено на рис. 5. Розподіли вертикальних зусиль на клини, встановлені у фіксаторі, наведено на рис. 6. Розподіл горизонтальних зусиль на фіксатори наведено на рис. 7.

Як видно з отриманих результатів, найбільші зміни за використання різних підходів відбуваються для горизонтальних зусиль на фіксаторі балки опорної. За використання другого підходу спостерігається збільшення зусиль на фіксатори приблизно в два рази порівняно з результатами, отриманими за використання першого підходу (див. рис. 7).

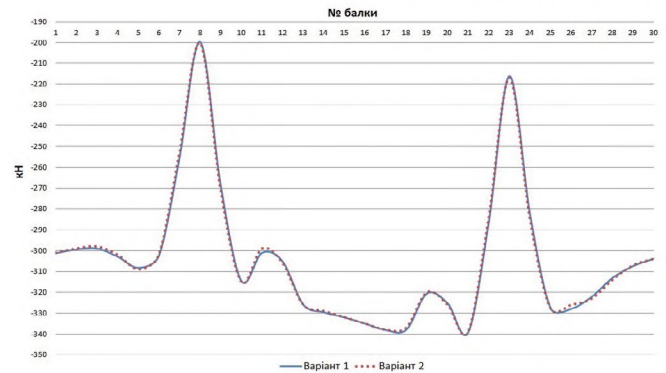


Рис. 5. Розподіл вертикальних зусиль на балки ферми опорної [кН]

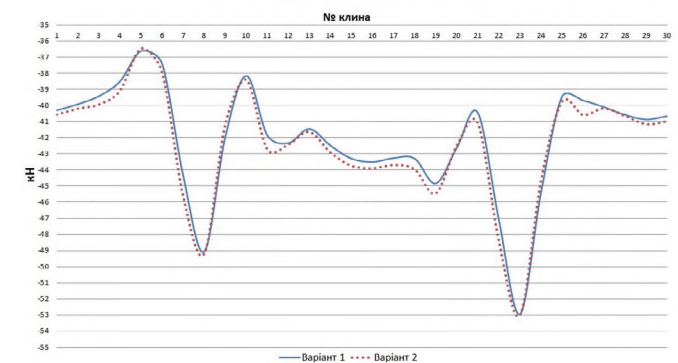


Рис. 6. Розподіли вертикальних зусиль на клини, встановлені у фіксаторі [кН]

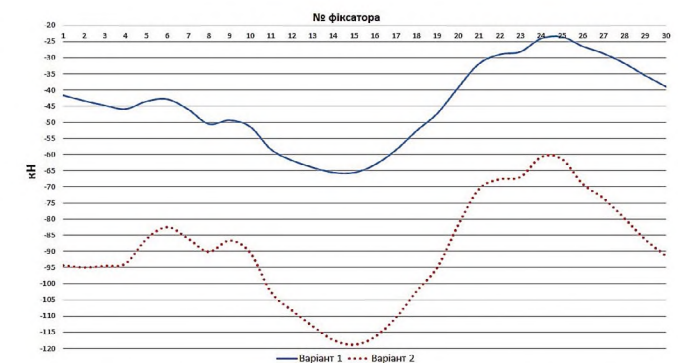


Рис. 7. Розподіл горизонтальних зусиль на фіксатори [кН]

Таблиця 4. Значення напружень в елементах кільця опорного за використання різних підходів визначення зусиль на ОЕ

Опорні елементи	Група напружень відповідно до [5]	Варіант 1	Варіант 2	Різниця, %
Кільце опорне	$\sigma_m$	20,38	26,82	24
	$\sigma_m \pm \sigma_b$	30,27	35,98	15,9
	$(\sigma)_{RV}$	443,50	450,88	1,6
Шпонка	$\sigma_m$	80,77	125,2	35,5
	$\sigma_m \pm \sigma_b$	89,61	131,77	32
	$(\sigma)_{RV}$	477,15	523,99	8,9
Фіксатор	$\sigma_m$	24,96	35,82	30,3
	$\sigma_m \pm \sigma_b$	31,51	44,81	29,7
	$(\sigma)_{RV}$	19,51	27,05	27,9

Це відбувається через значну зміну крутного моменту, що діє на кільце опорне, при додатковому врахуванні сільфона розділяючого під час вирішення задачі визначення відповідних зусиль на ОЕ реактора.

У табл. 4 наведено напруження в елементах кільця опорного при розрахунку напружено-деформованого стану з використанням зусиль, отриманих за різних підходів.

Отримані результати показують, що мембранні та згинальні напруження для першого варіанта визначення зусиль демонструють значно нижчі значення. Значення за цими категоріями напружень нижчі на 16–30% порівняно з другим підходом. Це свідчить про надлишковий консерватизм розрахованих напружень у попередніх роботах з обґрунтування продовження строку експлуатації ОЕ корпусу реактора ВВЕР-1000.

Як показано в роботах з оцінки циклічної міцності елементів АЕС [18, 19], значення напружень будуть впливати і на результуюче значення накопиченого циклічного навантаження, що в свою чергу може зумовити обмеження для перепризначення допустимої кількості циклів навантаження у понадпроектний строк.

### Висновки

Уперше в ядерно-енергетичній галузі під час виконання розрахункових обґрунтувань міцності та сейсмостійкості ОЕ корпусу реактора, що виконувались у рамках робіт з продовження строку експлуатації енергоблока № 1 ВП «Хмельницька АЕС», застосовувалась методологія визначення зусиль на ОЕ з використанням балочної скінченно-елементної

моделі та врахуванням сільфона розділяючого. Запропонована удосконалена модель взаємодії корпусу реактора з ОЕ дозволяє коректно врахувати всі жорсткісні характеристики системи і визначити вплив зусиль від трубопроводів, що передаються на кільце опорне, кільце опорне та сільфон розділяючий через патрубки корпусу реактора, що в свою чергу дозволяє значно підвищити точність визначення навантажень.

Як показало порівняння підходів, точність визначення зусиль на ОЕ впливає на результати розрахунку напружено-деформованого стану. При цьому врахування всіх жорсткісних характеристик приводить до зниження консервативності аналізу міцності ОЕ.

У наступних роботах доцільно дослідити вплив методичних підходів до розрахункового визначення зусиль, що діють на ОЕ, на розрахунок циклічної міцності, та оцінити їхній вплив на перепризначення допустимої кількості циклів навантаження у понадпроектний строк.

### Список використаної літератури

1. Посох В. О. Аналіз існуючих підходів до розрахункового обґрунтування безпечної експлуатації опорних елементів реактора / В. О. Посох, В. В. Інюшев, А. С. Колядюк, В. О. Дубковський // Ядерна енергетика та доквілля. — 2019. — № 3 (15). — С. 36–41.
2. Посох В. О. Визначення жорсткісних характеристик опорних елементів реактора ВВЕР-1000 / В. О. Посох, В. М. Васильченко, А. С. Колядюк, В. О. Дубковський // Ядерна та радіаційна безпека. — 2019. — № 4 (84). — С. 12–17.

3. Посох В. О. Методичні підходи до визначення зусиль, що діють на опорні елементи реактора ВВЕР-1000 при проектних режимах експлуатації енергоблоку / В. О. Посох // Ядерна енергетика та довкілля. — 2020. — № 1 (16). — С. 3–9.
4. 1160.01.02.000 СБ. Кольцо опорное. Сборочный чертеж. СКБ-2 предприятия п/я Г-4781. — 1981. — 4 с.
5. ПНАЭ Г-7–002–86. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок [Введены с изменениями 01.07.1987 г.] / Госатомэнергонадзор СССР. — Москва: Энергоатомиздат, 1989. — 525 с.
6. Посох В. О. Методичні підходи з оцінки циклічної міцності трубопроводів і обладнання енергоблоків АЕС за допомогою програмного комплексу APM Structure 3D / В. О. Посох, Ю. О. Оборський, В. О. Куров // Ядерна енергетика та довкілля. — 2016. — № 2 (8). — С. 4–14.
7. Посох В. О. Вибір методики визначення параметрів циклічного навантаження при розрахунках накопиченого та прогнозованого пошкодження елементів обладнання АЕС / В. О. Посох, К. В. Бахтіна, В. О. Куров // Ядерна енергетика та довкілля. — 2017. — № 1 (9). — С. 4–12.

---

**В. О. Посох<sup>1</sup>, В. В. Инюшев<sup>1</sup>, А. С. Колядюк<sup>1</sup>,  
А. С. Кошмак<sup>1</sup>, В. А. Дубковский<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ГП «Государственный научно-инженерный центр систем контроля и аварийного реагирования», просп. Героев Сталинграда, 64/56, Киев, 04213, Украина

<sup>2</sup>Одесский национальный политехнический университет, просп. Шевченко, 1, Одесса, 65044, Украина

### **Сравнительный анализ методических подходов к расчетному определению усилий, действующих на опорные элементы реактора ВВЭР-1000**

Приведены результаты сравнительного анализа методических подходов к определению усилий, действующих на опорные элементы через корпус реактора от присоединенных главных циркуляционных трубопроводов (ГЦТ) и трубопроводов системы аварийного охлаждения активной зоны реактора: вариант 1 — с учетом в расчетной модели жесткостей всех опорных элементов (впервые был применен при продлении срока эксплуатации энергоблока № 1 Обособленного подразделения (ОП) «Хмельницкая АЭС»); вариант 2 — с учетом в расчетной модели жесткостей только кольца опорного и кольца упорного (применял-

ся, в частности, при расчетных обоснованиях в рамках продления срока эксплуатации энергоблока № 3 ОП «Запорожская АЭС»). Сравнительный анализ результатов расчетов реакций опор показал, что разница достигает существенных значений как в процентном соотношении (до 120%), так и в численном выражении (до 844 кН · м). С целью оценки значимости результатов расчета реакций опор проведена оценка изменения напряженно-деформированного состояния на примере кольца опорного. Результаты свидетельствуют о наличии избыточного консерватизма при расчете напряжений по варианту 2 (до 30%).

*Ключевые слова:* опорные элементы реактора, корпус реактора, продление срока эксплуатации, расчетное обоснование безопасной эксплуатации, жесткостные характеристики.

---

**V. O. Posokh<sup>1</sup>, V. V. Inyushev<sup>1</sup>, A. S. Koliadiuk<sup>1</sup>,  
A. S. Koshmak<sup>1</sup>, V. O. Dubkovsky<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>SE “State Scientific Engineering Center for Control System and Emergency Response”, 64/56, Heroiv Stalinhrada ave, Kyiv, 04213, Ukraine

<sup>2</sup>Odessa National Polytechnic University, 1, Shevchenko ave, Odesa, 65044, Ukraine

### **Comparative Analysis of Methodological Approaches to the Calculational Determination of the Forces Acting on the VVER-1000 Reactor Support Elements**

The results of the comparative analysis of two methodological approaches to the calculational determination of the forces acting on the support elements through the reactor vessel from the connected main circulation pipelines and pipelines of the emergency cooling system are provided. First approach is that the stiffness of all reactor support elements (support ring, thrust ring and separating bellows) is taken into account in the beam model (for the first time it was applied in the calculations performed within justification of Khmelnytskyi NPP Unit 1 lifetime extension). The second approach is that only the stiffness of support ring and thrust ring is taken into account in the beam model (was applied, in particular, within justification of Zaporizhzhya NPP Unit 3 lifetime extension). Comparative analysis of the results of the calculation of the reactions of the supports showed that the difference reaches significant values, both in percentage

(up to 120 %) and in numerical terms (up to 844 kN · m). In order to assess the significance of the abovementioned results, an assessment of the stress-strain state on the example of the support ring was carried out. The results indicate that the greatest changes with the use of different approaches occur for horizontal forces on the fixator of the support beam. With the use of the second approach, there is an increase in the forces on the fixator by about two times compared with the results obtained using the first approach. This is due to a significant change in the torque acting on the support ring when considering the separating bellows. The obtained results show that the membrane and bending stresses for the first approach of force determination show much lower values. The values for these stress categories are lower by 16–30 % compared to the second approach. This indicates excessive conservatism of the calculated stresses for VVER-1000 reactor support elements in previous works of lifetime extension justification. Such conservatism could increase the resulting value of the accumulated cyclic load, which in turn could impose a restriction on the reassignment of the allowable number of load cycles.

*Keywords:* reactor support elements, reactor vessel, lifetime extension, calculational substantiation of safe operation, stiffness characteristics.

## References

1. Posokh V. O., Inyushev V. V., Kolyadyuk A. S., Dubkovsky V. O. (2019). [Analysis of existing approaches to the calculated substantiation of the reactor support elements safe operation]. *Yaderna energetyka ta dovkillia* [Nuclear Power and the Environment], vol. 15, no. 3, pp. 36–41. (in Ukr.)
2. Posokh V. O., Vasilchenko V. M., Kolyadyuk A. S., Dubkovsky V. O. (2019). [Determination of stiffness characteristics for WWER-1000 support components]. *Yaderna ta radiatsiina bezpeka* [Nuclear and Radiation Safety], vol. 84, no. 4, pp. 12–17. (in Ukr.)
3. Posokh V. O. [Methodological approaches to determining the forces acting on the VVER-1000 reactor support elements under power unit operating loads]. *Yaderna energetyka ta dovkillia* [Nuclear Power and the Environment], vol. 16, no. 1, pp. 3–9. (in Ukr.)
4. 1160.01.02.000 SB. *Support ring. Assembly drawings*. 1981, 4 p. (in Russ.)
5. PNAE G-7-002-86. *Standards for strength calculation of equipment and pipelines of nuclear power plants* [introduced with changes on 07/01/1987]. Moscow: Energoatomizdat, 1989, 525 p. (in Russ.)
6. Posokh V. O., Oborskyi I. O., Kurov V. O. (2016). [Approaches to the assessment of cyclic strength of NPPs pipelines and equipment by program complex APM Structure 3D]. *Yaderna energetyka ta dovkillia* [Nuclear Power and the Environment], vol. 8, no. 2, pp. 4–14. (in Russ.)
7. Posokh V. O., Bakhtina K. V., Kurov V. O. (2017). [Choice of a method for determining the cyclic loading parameters for calculating the accumulated and predicted damage of NPP equipment elements]. *Yaderna energetyka ta dovkillia* [Nuclear Power and the Environment], vol. 9, no. 1, pp. 4–12. (in Russ.)

Надійшла 30.04.2020

Received 30.04.2020