

В. В. Ількович*

*Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна**Відповідальний автор: vistaldi@gmail.com**МОДЕЛЬ РЕАКТОРА ВВЕР-1000 У ПРЕЦИЗІЙНОМУ КОДІ SERPENT 2
ДЛЯ РОЗРАХУНКУ РОЗПОДІЛУ ЕНЕРГОВИДІЛЕННЯ В АКТИВНІЙ ЗОНІ**

Представлено модель реактора ВВЕР-1000 для розрахунку розподілу енерговиділення в активній зоні за допомогою коду Serpent 2, який створено на основі методу Монте-Карло. Активну зону та елементи конструкції реактора біля неї змодельовано детально, майже без спрощення. Виконано розрахунки покасетного та аксіального розподілу енерговиділення у «свіжій» активній зоні з набору даних бенчмарка X2, а саме реактора ВВЕР-1000 на мінімальному контрольованому рівні потужності з першим паливним завантаженням енергоблока № 2 Хмельницької АЕС, а також виконано порівняння результатів з даними, отриманими фахівцями Центру імені Гельмгольца Дрезден-Росендорф.

Ключові слова: ВВЕР-1000, метод Монте-Карло, енерговиділення, Serpent 2, бенчмарк X2.

1. Вступ

Сучасні вимоги щодо обґрунтування безпеки реакторних установок зумовлюють необхідність моделювання широкого класу процесів, що протікають в активних зонах (АкЗ), на базі комплексних моделей з використанням надійних кодів. Особлива увага приділяється застосуванню прецизійних методів розрахунку, оскільки використання їх дає змогу зменшити ступінь консерватизму при визначенні характеристик в локальних областях, які задаються в тривимірних моделях відповідно до детальних конструкційних особливостей реакторів. Актуальність розвитку технології прецизійних розрахунків обумовлюється необхідністю отримання числових рішень через складність, високу вартість або неможливість отримання експериментальних даних для об'єктів ядерної енергетики, що особливо актуально для обґрунтування продовження терміну експлуатації енергоблоків АЕС, а також для розробки нових проектів АЕС.

Прецизійні програмні засоби для нейтронно-фізичних обчислень створюють переважно на основі методу Монте-Карло. Метод Монте-Карло є найбільш універсальним при математичному моделюванні переносу різних видів випромінювання, оскільки не накладає жодних обмежень на геометричну систему, і дає змогу моделювати взаємодію випромінювання з речовиною з використанням бібліотек на основі файлів оцінених ядерних даних, тобто найбільш точних даних без додаткових наближень та спрощень. Його особливість полягає в необхідності моделювання великої кількості історій для досягнення прийнятної статистичної похибки, що призводить до необхідності залучення значних розрахункових ресурсів. Однак розвиток комп'ютерних техноло-

гій, розробка сучасних алгоритмів, програмне і константне забезпечення розрахунків дають змогу вирішувати все більш складні задачі, включаючи розрахунки методом Монте-Карло нейтронно-фізичних характеристик повномасштабної тривимірної АкЗ реактора з урахуванням зворотних зв'язків. При цьому особливої уваги потребує розподіл енерговиділення, оскільки саме він використовується далі в теплогидравлічному коді для розрахунку розподілу густини та температури.

Одним з найпоширеніших програмних засобів, що реалізує метод Монте-Карло для вирішення задач переносу частинок у реакторах, є Serpent [1]. Цей код відносно швидко здобув популярність серед науковців, переважна більшість яких використовує другу версію програми – Serpent 2.

Serpent 2 є програмним засобом для моделювання транспорту нейтронів і фотонів у дво- або тривимірній геометрії. Цей код дає можливість виконувати розрахунки ефективного коефіцієнта розмноження та низки інших параметрів критичних систем, проводити дослідження паливних циклів, що включають розрахунки вигорання, нуклідного складу, радіаційних характеристик відпрацьованого та опроміненого ядерного палива. Крім того, за допомогою цього коду можна визначати дози випромінювання та їхні потужності, виконувати дослідження у сфері термоядерного синтезу та медичної фізики. Serpent 2 дає змогу проводити розрахунки так званих “full core” систем, тобто моделювати завантаження цілого реактора з можливістю детального опису кожного окремого елемента, каналу або чарунки АкЗ. Більш того, останнім часом активно створюються такі моделі реактора ВВЕР-1000 у коді Serpent для різноманітних досліджень і вирішення практичних задач [2 - 4].

У кодi Serpent 2 відсутній теплогiдрaвлiчний модуль, який давав би змогу враховувати у розрахунках зворотнi зв'язки за температурою. Проте командою розробникiв проводяться активнi роботи з дослiдження методики зв'язаних розрахункiв на базi вiльно поширюваного теплогiдрaвлiчного коду OpenFOAM i Serpent 2 для вододояних i рiдкометалевих реакторних установок [5, 6]. Варто зазначити, що варiант вирiшення проблеми відсутностi теплогiдрaвлiчної частини у розрахунках АкЗ ВВЕР-1000 буде представлено у наступнiй публiкацiї.

У свою чергу, поточна стаття є першою частиною серiї публiкацiй про модель реактора ВВЕР-1000 у кодi Serpent 2 для розрахунку розподiлу енерговидiлення в АкЗ. Вона присвячена представленню цiєї моделi для подальшого дослiдження зв'язаних розрахункiв, а також мiстить деякi результати верифiкацiї та валiдацiї. Оскiльки у цих дослiдженнях не враховується теплогiдрaвлiка, то роботу зручно представити на моделi реактора «нульової» потужностi, а саме реактора на мiнiмальному контрольованому рiвнi (МКР) потужностi з набору даних бенчмарка Х2 [7, 8] (вiдомого в англomовнiй лiтературi як Х2 benchmark).

2. Бенчмарк Х2 реактора ВВЕР-1000

Бенчмарк Х2 реактора ВВЕР-1000 запропоновано на 19-му та 20-му симпозиумах Atomic Energy Research у 2009 та 2010 рр. вiдповiдно. Бенчмарк ґрунтується на експлуатацiйних даних ВВЕР-1000 енергоблока № 2 Хмельницької АЕС (ХАЕС). Він включає унiкальний набiр даних щодо установки ВВЕР-1000, таких як детальний опис АкЗ, експлуатацiйна iсторiя перших чотирьох паливних кампанiй, результати рiзних вимiрювань i опис кiлькох перехiдних процесiв. Цi експериментальнi данi зiбрано з метою отримання найкращої доступної iнформацiї для верифiкацiї та валiдацiї програм, якими виконуються експлуатацiйнi нейтронно-фiзичнi розрахунки. Завдяки цiй роботi можна безпосередньо порiвнювати розрахованi значення з такими вимiряними даними, як критична концентрацiя бору пiд час паливних кампанiй, коефiцiєнти реактивностi, ефективнiсть стрижнiв системи управлiння та захисту (СУЗ) та показання детекторiв прямого заряду. Для невимiряних значень, таких як розподiл потужностi тепловидiляючих елементiв (ТВЕЛ) або вміст нуклiдiв вiдпрацьованого палива, можуть використовуватися прецензiйнi обчислення. Варто вiдзначити роботу про визначення розподiлу енерговидiлення в АкЗ з бенчмарка Х2 за допомогою Serpent 2 [9], результати якої для порiвняння з отриманими результатами даної статтi наведено нижче.

Бенчмарк можна логiчно роздiлити на декiлька частин зi зростаючим рiвнем складностi моделювання:

експерименти з реактором на МКР потужностi;

данi про вигорання i розподiл потужностi в АкЗ протягом перших чотирьох паливних кампанiй для вибраних моментiв часу;

данi про перехiднi процеси, що виникли на енергоблоцi пiд час перших кампанiй, таких як спрацювання аварiйного захисту реактора, ксеноновi коливання та вiдключення головного циркуляцiйного насосу.

Для даної статтi актуальною є перша частина цього перелiку, а саме опис геометрiї тепловидiляючих збiрок (ТВЗ), конструкцiї бiля АкЗ, стрижнiв СУЗ, iхнiй матерiальний склад, результати вимiрювань, проведених пiд час пуску реактора зi «свiжою» зоною. Усi геометричнi та матерiальнi параметри детально представлено, наприклад, у роботi [9].

Енергоблок № 2 ХАЕС уведено в експлуатацiю у 2004 р., i це один з перших блокiв ВВЕР-1000, який тодi було повнiстю завантажено «свiжим» паливом ТВЗА. Картограма першої паливної кампанiї (рис. 1) включає п'ять типiв ТВЗ, а саме: 13AU, 22AU, 30AV5, 390GO i 39AWU.

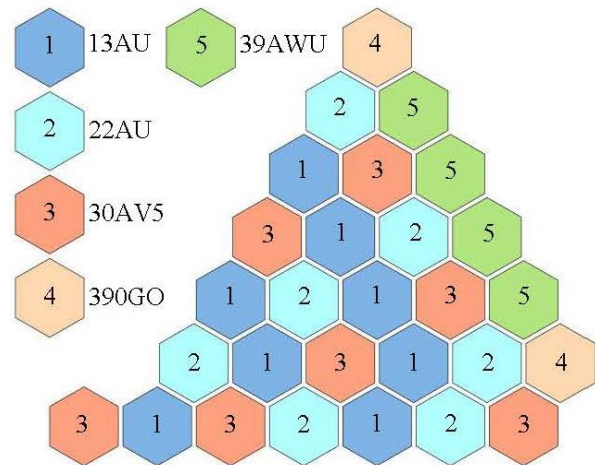


Рис. 1. Картограма першого паливного завантаження енергоблока № 2 ХАЕС для 60-градусного сектора симетрiї. (Див. кольоровий рисунок на сайтi журналу.)

Критичний стан реактора досягнуто за таких умов:

положення робочої групи (№ 10 в ОР СУЗ) 76 % (вище 280 см) вiд низу АкЗ;

концентрацiя борної кислоти в теплоносiї 6,9 г/кг;

температура теплоносiя на входi в АкЗ 281 °С; тиск теплоносiя над АкЗ 15,76 МПа.

3. Модель реактора ВВЕР-1000 у кодї Serpent 2

Перші результати розробки моделі реактора ВВЕР-1000 у кодї Serpent 2 представлено у роботі [10]. А для цієї статті модель було доопрацьо-

вано, і на підставі даних з бенчмарка X2 уточнено деякі геометричні та матеріальні параметри. У результаті було розроблено повномасштабну модель реактора енергоблока № 2 ХАЕС з першим паливним завантаженням (рис. 2).

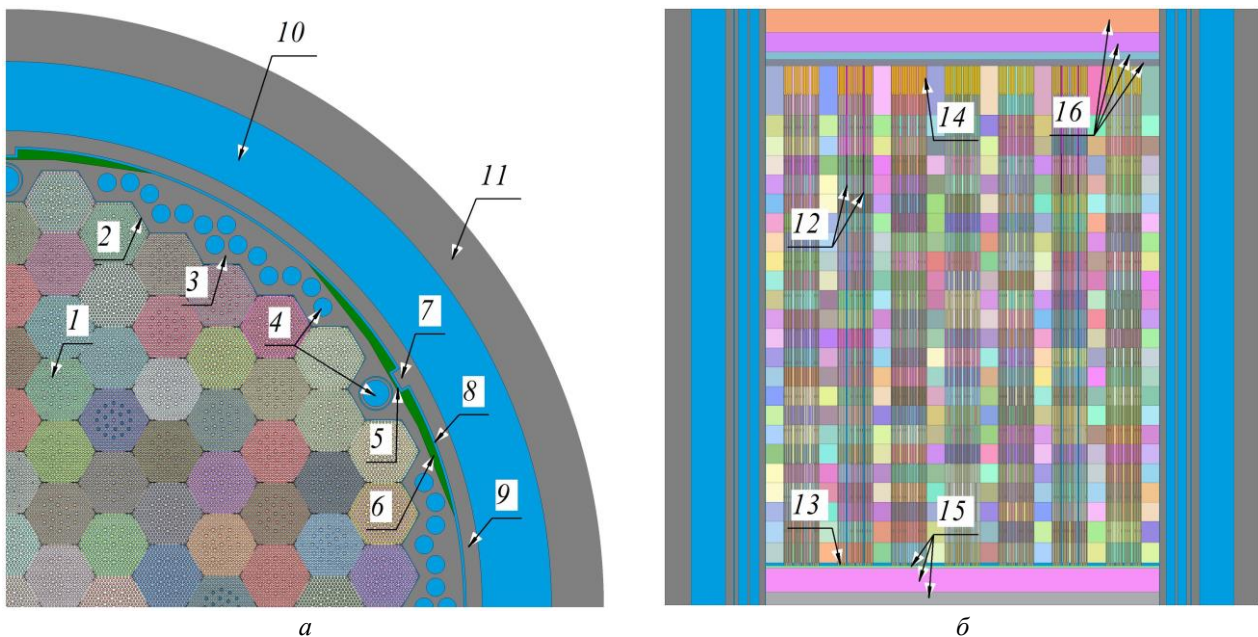


Рис. 2. Модель ВВЕР-1000 з першим паливним завантаженням енергоблока № 2 ХАЕС: *а* – 90-градусна частина 360-градусної моделі у горизонтальній площині, *б* – модель у вертикальній площині. 1 – ТВЗ; 2 – зазор між АкЗ і вигородкою; 3 – вигородка; 4 – вода в циліндричних каналах вигородки; 5 – шпонковий паз; 6 – кільцева проточка; 7 – витискувач; 8 – водяний зазор між вигородкою та ШВК; 9 – ШВК; 10 – вода опускної ділянки; 11 – корпус реактора; 12 – стрижні СУЗ робочої групи; 13 – заглушка нижня ТВЕЛ; 14 – газозбірник ТВЕЛ; 15 – гомогенізовані зони під АкЗ; 16 – гомогенізовані зони над АкЗ. (Див. кольоровий рисунок на сайті журналу.)

У цій моделі детально описано всі основні елементи конструкції реактора ВВЕР-1000: АкЗ у складі 163 ТВЗ, вигородка, шахта внутрішньо-корпусна (ШВК), корпус реактора. При розробці моделі значна увага приділялася детальності елементів біля АкЗ. Тому між периферійними касетами та внутрішньою поверхнею вигородки задавався відповідний зазор 3 мм, який повністю перекриває АкЗ по висоті. Також у моделі вигородки враховано усі вертикальні канали охолодження, труби у широких каналах та шпонкові пази. Зовнішня поверхня вигородки змодельова-

на циліндрично з гомогенізованими кільцевими проточками. Крім того, на внутрішній поверхні шахти змодельовано витискувачі, що входять у пази вигородки.

Значення основних геометричних і матеріальних параметрів розрахункової моделі ВВЕР-1000 енергоблока № 2 ХАЕС (крім гомогенізованих шарів 15 і 16 на рис. 2) точно відповідають даним у роботі [9]. Розміри та матеріальний склад гомогенізованих шарів на торцях АкЗ наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Склад гомогенізованих шарів

Висотна координата від низу АкЗ, см		Об’ємна частка матеріалу, %			
Низ шару	Верх шару	Теплоносій	Сталь 08X18H10T	Сплав E635	Гелій
-32,2	-22,2	70,0	30,0	–	–
-22,2	-4,1	67,0	33,0	–	–
-4,1	-2,3	57,0	33,0	10,0	–
377,0	381,7	56,0	1,9	30,6	11,5
381,7	387,4	98,9	–	1,1	–
387,4	402,3	85,1	14,9	–	–
402,3	420,1	74,3	25,7	–	–

Особливо ретельно розроблено модель АкЗ, в якій враховано практично всі деталі, і яку змодельовано потвельно майже без спрощення. Як вже було зазначено вище, ця АкЗ включає п'ять типів ТВЗА, а саме: 13AU, 22AU, 30AV5, 390GO і 39AWU, моделі яких наведено на рис. 3 - 6. Ці ТВЗ відрізняються від касет попередніх типів ТВЗМ наявністю куточків жорсткості та тепловідільних елементів – ТВЕГ, що містять вигоряючий поглинач гадоліній. Оскільки в ТВЗА мате-

ріал дистанціонуючих решіток такий самий, як матеріал оболонок ТВЕЛ та ТВЕГ, то наявність їх враховано шляхом потовщення оболонок, що є по суті єдиним спрощенням моделі АкЗ. Крім того, у моделі АкЗ вище висоти 280 см відносно нижньої межі паливного стовпа реалізовано поглинаючі стрижні СУЗ 10-ї групи, нижню частину яких виконано з титанату диспрозійу ($Dy_2O_3+TiO_2$), а верхню – з карбиду бору (B_4C).

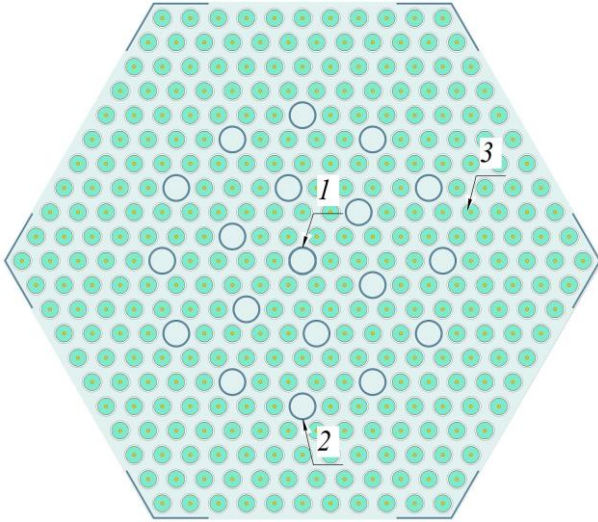


Рис. 3. ТВЗ типів 13AU і 22AU: 1 – центральна труба; 2 – направляючий канал; 3 – ТВЕЛ зі збагаченням 1,3 % (13AU) або 2,2 % (22AU). (Див. кольоровий рисунок на сайті журналу.)

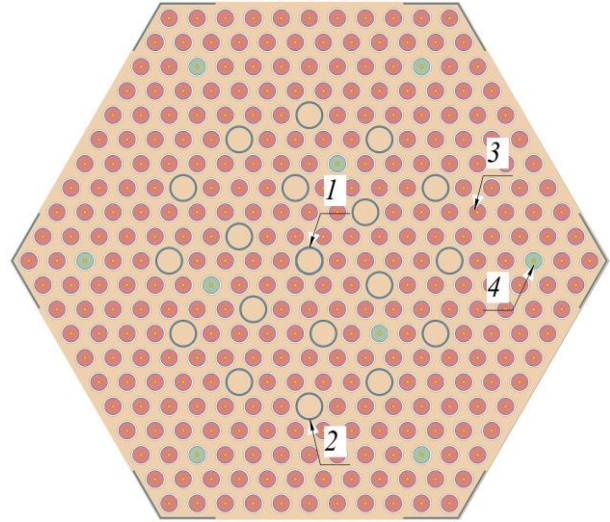


Рис. 4. ТВЗ типу 30AV5: 1 – центральна труба; 2 – направляючий канал; 3 – ТВЕЛ зі збагаченням 3,0 %; 4 – ТВЕГ зі збагаченням 2,4 %. (Див. кольоровий рисунок на сайті журналу.)

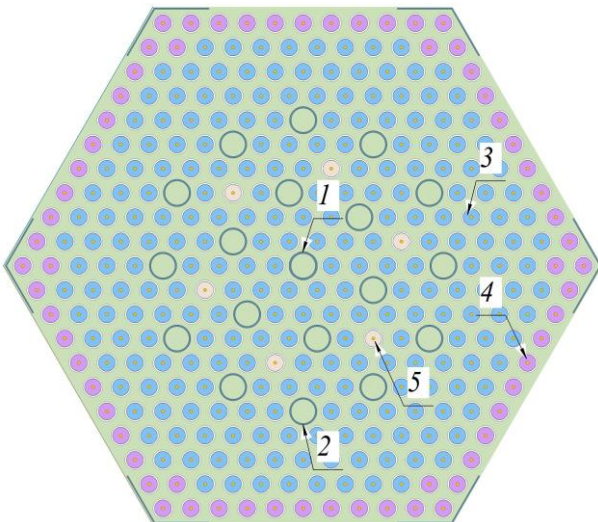


Рис. 5. ТВЗ типу 390GO: 1 – центральна труба; 2 – направляючий канал; 3 – ТВЕЛ зі збагаченням 4,0 %; 4 – ТВЕЛ зі збагаченням 3,6 %; 5 – ТВЕГ зі збагаченням 3,3 %. (Див. кольоровий рисунок на сайті журналу.)

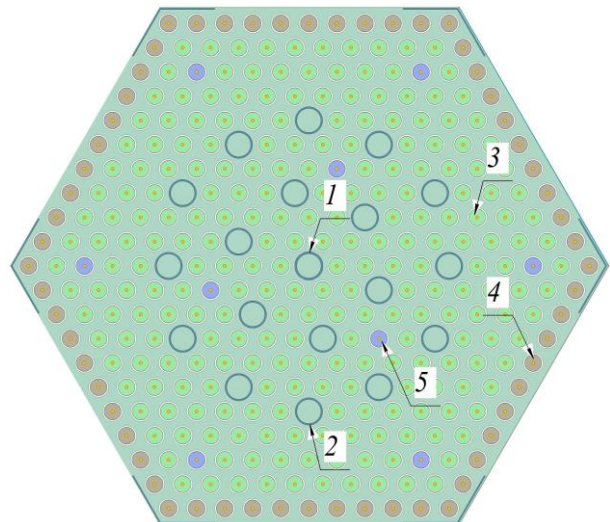


Рис. 6. ТВЗ типу 39AWU: 1 – центральна труба; 2 – направляючий канал; 3 – ТВЕЛ зі збагаченням 4,0 %; 4 – ТВЕЛ зі збагаченням 3,6 %; 5 – ТВЕГ зі збагаченням 3,3 %. (Див. кольоровий рисунок на сайті журналу.)

Для врахування в майбутньому розподілу вигорання палива та температури в ньому, паливний стовп кожного ТВЕЛ та ТВЕГ розбитий на 24 шари, аналогічні тим, що реалізовано в програмі для експлуатаційних розрахунків ANC-H

[11]. Нижній і верхній шари (1-й і 24-й відповідно) мають висоти 15,30 см, шари над нижнім і під верхнім (2-й і 23-й відповідно) – 16,10 см, а всі інші шари – 14,61 см. Крім того, для подальшого врахування розподілу густини теплоносія в

об'ємі АкЗ, у моделі кожної касети аналогічно по висоті розбита вода. Очевидно, що в розрахунках реактора на МКР потужності з першим паливним завантаженням АкЗ у кожному шарі нуклідний склад і густина матеріалів однакові по висоті.

4. Розрахунок розподілу енерговиділення в АкЗ ВВЕР-1000

Пристаюючи до розгляду цього питання, насамперед варто зазначити, що одночасно з розрахунками розподілу енерговиділення в АкЗ було виконано перевірку критичного стану розробленої моделі. З цією метою в моделі було вказано густину теплоносія, що відповідає температурі 281 °С і тиску 15,76 МПа, і встановлено положення стрижнів СУЗ 10-ї групи вище 280 см від низу АкЗ, при цьому підбиралася концентрація борної кислоти в теплоносії така, щоб ефективний коефіцієнт розмноження дорівнював 1. Під час проведення розрахунків використовувалася версія розрахункового коду "Serpent 2.1.32", а також бібліотеки на основі файлів оцінених ядерних даних ENDF/B-VII.0. Крім того, застосовувалася картка "set pop 6000 100000 200", яка моделює 6000 циклів нейтронів по 100000 нейтронів у кожному, причому 200 перших не враховуються в кінцевому результаті. Встановлено, що критичний стан системи (ефективний коефіцієнт розмноження

нейтронів становив $0,99996 \pm 0,00005$) настає при концентрації бору 1194 ppm, яка збігається з експериментально одержаним значенням 1207 ppm у межах похибки $\pm 2\%$. Проте, даний результат помітно відрізняється від значення 1208 ppm [9], яке отримано фахівцями Центру імені Гельмгольца Дрезден-Россендорф (ГЦДР) теж за допомогою Serpent 2 (але версія коду використовувалася "Serpent 2.1.31").

За допомогою розробленої моделі проводилися розрахункові дослідження розподілу енерговиділення в АкЗ. Реєстрація енерговиділення здійснювалась у сітці шестикутних детекторів (картка "dh" у Serpent 2), яка реалізована окремо від геометрії моделі, що дає змогу задавати довільну кількість шарів.

Одним із основних результатів дослідження був покасетний розподіл енерговиділень в АкЗ з першим паливним завантаженням енергоблока № 2 ХАЕС (рис. 7). Результати цих розрахунків позначено нижче як $W_{\text{яд}}$. Вони порівнювалися з даними розрахунків фахівців ГЦДР, які позначено нижче як $W_{\text{ГЦДР}}$. Для порівняння обчислювалася різниця між розрахунками δ у відсотках за формулою: $(W_{\text{яд}} / W_{\text{ГЦДР}} - 1) \cdot 100\%$. Порівняльний аналіз результатів розрахунків показує їхню узгодженість. Зокрема, максимальна різниця не перевищує 1,6 %.

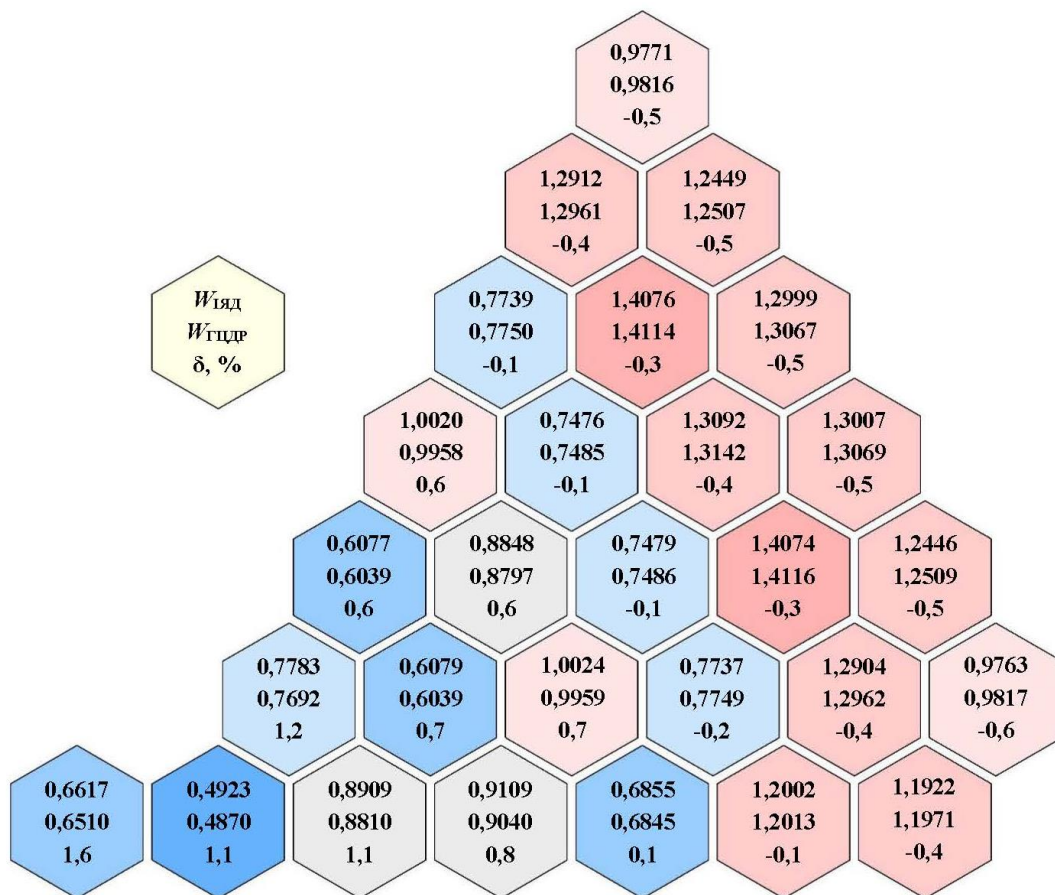


Рис. 7. Покасетний розподіл відносних енерговиділень в АкЗ ВВЕР-1000 з першим паливним завантаженням енергоблока № 2 ХАЕС. (Див. кольоровий рисунок на сайті журналу.)

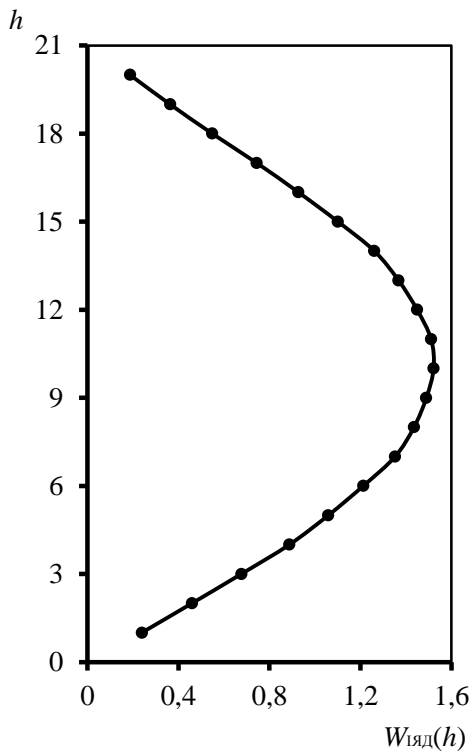


Рис. 8. Аксіальний розподіл відносного енерговиділення в АкЗ ВВЕР-1000 з першим паливним завантаженням енергоблока № 2 ХАЕС.

Таблиця 2. Аксіальний розподіл відносного енерговиділення в АкЗ ВВЕР-1000 з першим паливним завантаженням енергоблока № 2 ХАЕС

h	$W_{яд}(h)$	$W_{ГЦДР}(h)$	$\delta, \%$
20	0,1875	0,1876	-0,1
19	0,3633	0,3650	-0,5
18	0,5491	0,5513	-0,4
17	0,7446	0,7484	-0,5
16	0,9278	0,9326	-0,5
15	1,1013	1,1048	-0,3
14	1,2611	1,2630	-0,2
13	1,3672	1,3730	-0,4
12	1,4487	1,4508	-0,1
11	1,5102	1,5065	0,2
10	1,5212	1,5240	-0,2
9	1,4892	1,4878	0,1
8	1,4351	1,4310	0,3
7	1,3523	1,3492	0,2
6	1,2123	1,2090	0,3
5	1,0588	1,0553	0,3
4	0,8877	0,8844	0,4
3	0,6765	0,6737	0,4
2	0,4594	0,4571	0,5
1	0,2393	0,2378	0,6

Крім того, отримано профілі розподілу відносного енерговиділення в кожній ТВЗ для 20 шарів однакової висоти (номери шарів позначено нижче як h і вони рахуються знизу вгору). Результати цього дослідження в нормованому вигляді та усереднені по всіх ТВЗ в кожному розрахунковому шарі позначено нижче як $W_{яд}(h)$ і наведено на рис. 8.

Вони порівнювалися з даними розрахунків фахівців ГЦДР, які позначено нижче як $W_{ГЦДР}(h)$ і наведено у табл. 2. Для порівняння обчислювалася різниця між розрахунками δ у відсотках за формулою: $(W_{яд}(h) / W_{ГЦДР}(h) - 1) \cdot 100 \%$, що показало майже відсутню різницю. Зокрема, максимальна різниця не перевищує 0,6 %.

5. Висновки

Розроблено модель реактора ВВЕР-1000 для розрахунку розподілу енерговиділення в АкЗ за допомогою прецизійного коду Serpent 2, який створено на основі методу Монте-Карло. При розробці моделі значна увага приділялася деталності моделювання як самої АкЗ, так і елементів конструкції реактора біля неї.

У рамках представленої роботи виконано розрахунки покasetного та аксіального розподілу відносних енерговиділень у «свіжій» АкЗ з набору даних бенчмарка X2, а саме реактора ВВЕР-1000 на МКР потужності з першим паливним завантаженням енергоблока № 2 ХАЕС, а також виконано порівняння результатів з даними, отриманими фахівцями ГЦДР теж за допомогою Serpent 2. Порівняльний аналіз показує, що результати моделювання майже не відрізняються. Зокрема, максимальна різниця у покasetному розподілі відносних енерговиділень не перевищує 1,6 %, а у розподілі відносного енерговиділення, усередненого по всіх ТВЗ в кожному розрахунковому шарі, - 0,6 %.

Оскільки у кодi Serpent 2 відсутній теплогiдрaвлiчний модуль, який давав би змогу врахувати у розрахунках зворотнi зв'язки за температурою, то наступним етапом даної роботи має стати коректне врахування теплогiдрaвлiчної частини, насамперед визначення розподілу густини теплоносія та температури палива в об'ємі АкЗ реактора.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

1. J. Leppänen et al. The Serpent Monte Carlo code: Status, development and applications in 2013. *Ann. Nucl. Energy* 82 (2015) 142.
2. V. Valtavirta, A. Rintala. Validating Kraken for VVER-1000 fuel cycle simulations using the X2 benchmark. *Ann. Nucl. Energy* 190 (2023) 109878.
3. V.I. Gulik et al. The Development of a Three-Dimensional Model of WWER-1000 Core Using the

- Monte Carlo Serpent Code for Neutron-Physical Modeling. *Problems of Atomic Science and Technology* 5(123) (2019) 58.
4. O.M. Khotiaintseva et al. Calculation of radiation fields in the VVER-1000 concrete biological shield using Monte Carlo code Serpent. *Nucl. Phys. At. Energy* 24 (2023) 231.
 5. R. Tuominen et al. Coupling Serpent and OpenFOAM for neutronics – CFD multi-physics calculations. In: Physics of Reactors 2016 (PHYSOR 2016), Sun Valley, ID, USA, May 1 - 5 May 2016. Proc. of the Conf. (American Nuclear Society, 2016) p. 255.
 6. R. Tuominen, V. Valtavirta, J. Leppänen. Application of the Serpent-OpenFOAM Coupled Code System to the SEALER Reactor Core. In: Physics of Reactors (PHYSOR 2018), Cancun, Mexico, 22 - 26 April 2018. Proc. of the Int. Conf. (American Nuclear Society, 2018) p. 3425.
 7. T. Lötsch, V. Khalimonchuk, A. Kuchin. Proposal of a benchmark for core burnup calculations for a VVER-1000 reactor core. In: Proceedings of the 19th AER Symposium on VVER Reactor Physics and Reactor Safety, Sts. Constantine and Elena Resort, Bulgaria, 2009, 57 p.
 8. T. Lötsch, V. Khalimonchuk, A. Kuchin. Corrections and additions to the proposal of a benchmark for core burnup calculations for a VVER-1000 reactor. In: Proceedings of the 20th AER Symposium on VVER Reactor Physics and Reactor Safety, Hanasaari, Espoo, Finland, 2010, 88 p.
 9. Y. Bilodid, E. Fridman, T. Lötsch. X2 VVER-1000 benchmark revision: Fresh HZP core state and the reference Monte Carlo solution. *Ann. of Nucl. Energy* 144 (2020) 107588.
 10. В.В. Ількович. Розробка моделі реактора ВВЕР-1000 у кодї Serpent для розрахунку розподілу енерговиділення. У кн.: XXIX щорічна наукова конференція Інституту ядерних досліджень НАН України, Київ, 26 - 30 вересня 2022 року. Анотації до доповідей (К.: Ін-т ядерних дослідж., 2022) с. 103. / V.V. Ilkovich. Development of the VVER-1000 reactor model in the Serpent code for calculating the distribution of energy release. In: *The XXIX Annual Scientific Conference of the Institute for Nuclear Research of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, September 26-30, 2022. Book of Abstracts* (Kyiv: Institute for Nuclear Research, 2022) p. 103. (Ukr)
 11. Квалификация системы расчетных программ PHOENIX-H/ANC-H для проектирования активной зоны с ТВСА. Отчет НТК ЯТЦ ННЦ ХФТИ 12-3-036, ред. 1, 2009. / Qualification of the PHOENIX-H/ANC-H calculation programs system for designing a core with a Fuel assembly. Report of the Scientific and Technical Complex “Nuclear Fuel Cycle” of the National Scientific Center “Kharkiv Institute of Physics and Technology” 12-3-036, 2009. (Rus)

V. V. Ilkovich*

Institute for Nuclear Research, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

*Corresponding author: vistaldi@gmail.com

VVER-1000 REACTOR MODEL USING THE SERPENT 2 CODE FOR CORE POWER DISTRIBUTION CALCULATION

A VVER-1000 reactor model using the Monte Carlo Serpent 2 code for core power distribution calculation is presented. The core and zones located near to the core were modeled in detail, without simplification. The assembly power distribution and axial power profiles were calculated for fresh core of the X2 VVER-1000 benchmark, namely the core of the KhNPP2 first loading for the hot zero power. The results were compared with the data obtained by specialists from Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf.

Keywords: VVER-1000, Monte Carlo method, power distribution, Serpent 2, X2 benchmark.

Надійшла/Received 22.08.2023