



**КРАСНОРУЦЬКИЙ
Володимир Семенович** —
кандидат фізико-математичних
наук, директор Науково-
технічного комплексу «Ядерний
паливний цикл» Національного
наукового центру «Харківський
фізико-технічний інститут»

СТАН ДОСЛІДЖЕНЬ І РОЗРОБОК ЗІ СТВОРЕННЯ МАТЕРІАЛІВ ТА ЕЛЕМЕНТІВ ДЛЯ ПОГЛИНАЮЧИХ СТРИЖНІВ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТА ЗАХИСТУ ЯДЕРНИХ РЕАКТОРІВ УКРАЇНИ

Стенограма доповіді на засіданні Президії
НАН України 24 січня 2024 року

Доповідь присвячено актуальним роботам із розроблення нейтронпоглинаючих матеріалів для систем керування та захисту ядерних реакторів, які проводяться в Національному науковому центрі «Харківський фізико-технічний інститут» і спрямовані на науково-технічну підтримку ядерного паливного циклу України. Розглянуто найбільш вагомі результати фундаментальних і прикладних досліджень у галузі ядерного матеріалознавства, конструювання й технологій виготовлення поглинаючих елементів для реакторів різного типу, зокрема й малих модульних реакторів, які плануються впроваджувати в структуру ядерної енергетики України.

Шановний Анатолію Глібовичу!
Шановні члени Президії!

Освоєння ядерної енергії в мирних цілях стало можливим завдяки елементам, які мають здатність поглинати нейтрони залежно від їхнього спектра енергії. Перелік основних таких поглинаючих елементів та їхні ядерно-фізичні властивості наведено в таблиці. Працездатність виробів, призначених для роботи в активній зоні ядерного реактора, залежить як від характеристик матеріалів, з яких їх виготовлено, так і від конструкцій систем, до складу яких вони входять. Зазначені вище елементи з метою їх використання як нейтронпоглинаючих матеріалів (адсорберів) досліджують і застосовують у різних видах і станах.

Види і форми нейтронпоглинаючих матеріалів. Усі матеріали, які поглинають нейтрони, можна поділити на кілька груп:

1) металеві матеріали — гадоліній (Gd), гафній (Hf), індій (In), кадмій (Cd), срібло (Ag), європій (Eu) та ін.;

2) сполуки бору – карбід бору (B_4C), гексаборид гадолінію (GdB_6), борна кислота (H_3BO_3), дибориди (HfB_2 ; EuB_2 ; TiB_2 та ін.);

3) оксиди – VO_2 , Eu_2O_3 , GdO_2 , DyO_2 та ін.;

4) складні оксидні сполуки – $Gd_2O_3 \times Al_2O_3$ (Gd_2AlO_3 – моноалюмінат гадолінію), $Dy_2O_3 \times TiO_2$, $Dy_2O_3 \times HfO_2$, $Eu_2O_2 \times TiO_2$, $Gd_2O_3 \times ZrO_2$ та ін.

Таке широке розмаїття матеріалів у вигляді оксидів зумовлене тим, що в результаті синтезу може утворюватися ціла низка сполук, які різняться своїм структурно-фазовим станом. Наприклад, під час синтезу оксидів диспрозію і титану $Dy_2O_3 \times TiO_2$ утворюються сполуки $Dy_2Ti_2O_7$, Dy_2TiO_5 та ін.

Ядерно-фізичні властивості поглиначів, що використовуються або є перспективними для використання в активній зоні ВВЕР

Елемент	Атомна маса	Вміст ізотопу в природній речовині, %	$T_{пл}, ^\circ C$	$\rho, \text{г/см}^3$	Перетин поглинання теплових нейтронів		Ізотопи, утворені при захопленні нейтрона	Мікроскопічний перетин поглинання дочірніх продуктів
					мікроскопічний, барн	макроскопічний, см^{-1}		
B	10,82	–	2300	2,45	755±2	104	–	–
	10	19,8	–	–	3813	568	^7Li	0,033±0,02
Ag	107,88	–	901	10,5	63±1	3,63	–	–
	107	51,35	–	–	31±2	–	^{108}Cd	–
	109	48,65	–	–	87±7	–	^{110}Ag ^{110}Cd	– 0,2
Cd	112,41	–	321	8,65	2450±50	118	–	–
	113	12,26	–	–	20000±300	–	^{114}Cd	1,2
In	114,82	–	156	7,3	196±5	7,3	–	–
	113	4,23	–	–	58±13	–	^{114}In	–
	115	95,77	–	–	207±21	–	^{114}Sn $^{116}\text{In}, ^{116}\text{Sn}$	– 0,004
Gd	157,26	–	1350	7,95	46000±2000	1390	–	–
	155	14,73	–	–	61000±5000	–	^{156}Gd	–
	157	15,68	–	–	240000±12000	–	^{158}Gd	4±2
Dy	165,51	–	1400	8,56	950±50	35	–	5000±2000
	164	28,18	–	–	2600±300	–	^{165}Dy ^{166}Ho	64±3
Hf	175,58	–	2222	13,1	105±5	4,81	–	380±30
	174	0,18	–	–	1500±1000	–	^{175}Hf	75±10
	176	5,15	–	–	15±15	–	^{177}Hf	65±15
	177	18,39	–	–	380±30	–	^{178}Hf	14±5
	178	27,08	–	–	75±10	–	^{179}Hf	21,3±1,0
	179	13,78	–	–	65±15	–	^{180}Hf	
	180	35,44	–	–	14±5	–	$^{181}\text{Hf}, ^{181}\text{Ta}$	
Eu	151	47,8	826	5,24	7700± 80	17,9	$^{152}\text{Eu}, ^{154}\text{Eu}, ^{155}\text{Eu}$	
	153	52,2			450±20		$^{156}\text{Eu}, ^{156}\text{Gd}$	
Er	162, 164, 166		1500	9,06	166	0,60	$^{161}\text{Er}, ^{163}\text{Er}, ^{165}\text{Er}$	
	167, 168, 170						$^{167}\text{Er}, ^{169}\text{Er}, ^{171}\text{Er}$	

Для роботи в реакторах нейтронпоглинаючі матеріали застосовують у конкретному стані та конкретній формі. Це може бути розчин матеріалу в теплоносії, наприклад борна кислота у воді, або суміш із матеріалом ядерного палива, зокрема таблеткове паливо ($\text{UO}_2 + \text{GdO}_2$) для водо-водяних реакторів. Їх використовують і як основний матеріал у конструкціях поглинаючих елементів (ПЕЛів), наприклад у формі елемента — металевого гафнію або у вигляді порошків, мікросфер, таблеток (рис. 1). Є також дисперсійно-матричні форми, наприклад B_4C у графітовій матриці, металевий Gd, B_4C у металевій матриці та ін.

Конструкції систем керування та захисту реакторів. Усі матеріали в реакторах працюють у складі конкретних конструкцій, індивідуальних для кожного типу реактора. Наприклад, у високотемпературних реакторах ВТГР поглиначі нейтронів використовують у вигляді куль, у реакторах ВВЕР-1000 — у вигляді стрижнів.

Призначення нейтронпоглинаючих матеріалів. Головна функція нейтронпоглинаючих матеріалів у складі конкретних конструкцій полягає в регулюванні потужності реактора в межах від 0 до 100 % у заданих режимах роботи, зокрема й у змінних у часі режимах.

Друга функція, яку виконують нейтронпоглинаючі матеріали, має дві складові: поперше, за їх допомогою забезпечують рівномірний розподіл нейтронів в об'ємі активної зони реактора, що необхідно для досягнення максимально можливого вигорання палива; а по-друге, використання цих матеріалів дозволяє нейтралізувати запас реактивності. Для забезпечення безперервної роботи ядерного реактора в заданому циклі слід мати необхідний запас реактивності, який визначається кількістю речовини, що ділиться, в об'ємі активної зони. Тому залежно від необхідного ресурсу використовують паливо різного збагачення: від природного (0,7 % U^{235}), як, наприклад, у реакторах каналного типу з важкою водою (CANDU, KC-150), з яких можна вивантажувати паливо, як тільки воно вичерпало свою ефективність, і до 90 % збагачення — для застосування в спеціальних апаратах, наприклад



Рис. 1. У конструкціях ПЕЛів поглинаючий матеріал використовують у вигляді: *a* — мікросфер; *б* — порошку; *в* — таблеток

у підводних човнах із циклом роботи до десятків років. Однак високий запас реактивності пов'язаний з проблемами з безпекою роботи реактора, тому необхідно постійно, в будь-який час підтримувати малу реактивність.

Саме для вирішення цих двох завдань і застосовують нейтронпоглинаючі матеріали, так звані вигоряючі поглиначі.

Третя функція, яку виконують нейтронпоглинаючі матеріали, пов'язана із забезпеченням безпеки роботи реактора — вони дають змогу в разі виникнення аварійних або надзвичайних ситуацій заглушити реактор.

Показники застосовності нейтронпоглинаючих матеріалів. Для того, щоб вибрати оптимальний нейтронпоглинаючий матеріал для роботи в конкретному типі реакторів, необхідно знати деякі їхні характеристики використання, такі як:

- 1) фізична ефективність поглинання нейтронів конкретного спектра енергії для конкретної установки;
- 2) радіаційна стійкість (ріст, розпухання);
- 3) корозійна стійкість у теплоносії;
- 4) сумісність із конструкційними матеріалами;
- 5) технологічність виготовлення;
- 6) вартість;
- 7) поводження з відпрацьованими елементами (зокрема, їх переробка).

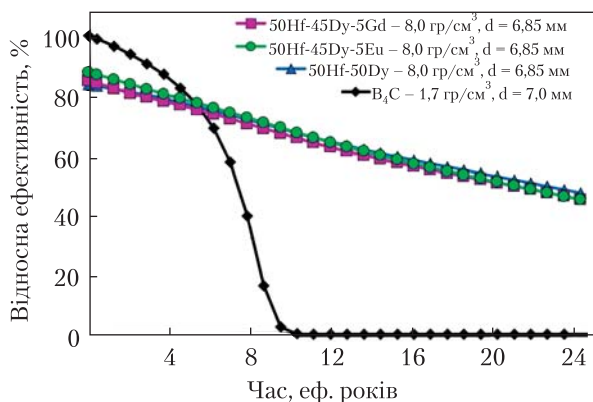


Рис. 2. Відносні фізичні ефективності поглинання нейтронів різними поглинаючими матеріалами в процесі їх експлуатації в активній зоні реактора ВВЕР-1000

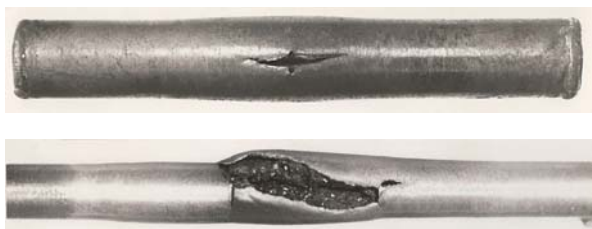


Рис. 3. Розгерметизація оболонки ПЕЛа

Під час проектування систем керування і регулювання вибір нейтронпоглинаючих матеріалів ґрунтується на комплексному взаємозв'язку всіх показників їх застосовності.

Починають вибір матеріалу з визначення показників фізичної ефективності. Як приклад на рис. 2 наведено зміну ступеня поглинання нейтронів залежно від часу роботи в реакторі для зіставних конструкцій ПЕЛів з бором і гафнієм. З рисунку видно, що бор як матеріал швидко вигоряє, а гафній може довго зберігати свою ефективність. Це пояснюється тим, що під час поглинання нейтрона атомом гафнію утворюється ланцюжок ізотопів, які мають високий перетин поглинання нейтронів. У випадку бору такого немає. Тому бор можна застосовувати і як вигоряючий поглинач, і в системі керування та захисту, але лише в разі, якщо терміни ресурсу роботи реактора обмежені.

Найскладніше завдання — обґрунтування радіаційної стійкості матеріалів, особливо нових, які ще тільки розробляються. У цьому разі спираються на вже відомі дані та оцінюють необхідність проведення реакторних випробувань і досліджень, що може значно збільшити час розроблення. Тому основним критерієм надійності є показник корозійної стійкості матеріалу в теплоносії. Зазвичай використовують уже наявні або розробляють експрес-методику випробувань на корозію, за результатами яких можна робити висновки про застосовність матеріалу. Але, на жаль, це не завжди спрацьовує.

Наприклад, для роботи в реакторах криголамів спочатку було спроектовано ПЕЛи з оксидом гадолінію в оболонках з нержавіючої сталі. За результатами позареакторних випробувань їх прийняли в експлуатацію, однак під час роботи в реальних умовах радіаційного опромінення почалася розгерметизація оболонки, корозія матеріалу і, відповідно, його вививання теплоносієм. Приклад розгерметизації оболонки наведено на рис. 3.

Така ситуація загрожує аварією, катастрофічними змінами, що унеможливають регулювання потужності реактора. Розробники довго не могли вирішити цю проблему, а тому міністерство зобов'язало ХФТІ знайти рішення. В інституті тоді якраз розробляли ядерне паливо на основі складних окисних сполук для роботи в реакторах на швидких нейтронах з газовим теплоносієм у вигляді N_2O_4 , яке мало високу корозійну стійкість у хімічно агресивному середовищі. Спираючись на цей досвід, фахівці ХФТІ запропонували використовувати складну сполуку — моноалюмінат гадолінію (Gd_2AlO_3). Було розроблено технологію виготовлення цього матеріалу і проведено корозійні випробування, які засвідчили незмінність його фазового складу і високу корозійну стійкість. Виготовлену в інституті партію ПЕЛів встановили на криголамі, і вони успішно відпрацювали в реальних умовах.

Розробки ННЦ ХФТІ спонукали спеціалізовані організації, відповідальні за цей напрям, розпочати термінове вивчення можливості застосування складних сполук оксидів як нейтронпоглинаючих матеріалів.

Після проведення більш глибоких досліджень і додаткових випробувань було показано, що під час синтезу складних сполук, залежно від умов і параметрів реакції, можуть утворюватися сполуки різної стехіометрії (типу $A_xB_yO_z$), з різними показниками працездатності. При цьому деякі сполуки, які продемонстрували стабільність і надійність під час позареакторних випробувань, в умовах радіаційного опромінення можуть виявитися нестабільними, а їхній розпад може супроводжуватися погіршенням корозійної та радіаційної стійкості матеріалів і ПЕЛів загалом.

Наведений приклад свідчить, що пропозиція щодо використання будь-якого нейтронпоглинаючого матеріалу має супроводжуватися комплексним обґрунтуванням його працездатності та надійності у взаємозв'язку з технологією його виготовлення і конструкцією ПЕЛів.

Наразі в ННЦ ХФТІ опрацьовують можливості реалізації найефективніших рішень — застосування елементів у металевому стані та створення матеріалів з високими показниками надійності. Відомо, що одними з найнадійніших систем є дисперсійно-матричні форми матеріалів, які можна створювати поєднанням найбільш працездатних матеріалів, що відповідають умовам експлуатації. Однак технології виготовлення таких матеріалів досить складні і трудомісткі, що безумовно впливає на вартість матеріалу. Проте в окремих випадках, коли потрібна максимальна безпека при тривалому ресурсі роботи, економія відступає на другий план. Переважно це стосується створення матеріалів і поглинаючих елементів для роботи в активних зонах спеціальних установок, наприклад реакторів, які встановлюють на криголамах, підводних човнах, у космічних апаратах. В ННЦ ХФТІ розроблено технології та обладнання для створення дисперсійно-матричного палива для використання в подібних реакторних установках із ресурсом роботи до 25 років. Технологічну схему виготовлення таких зразків наведено на рис. 4.

Для розроблених дисперсійно-матричних нейтронпоглинаючих систем, призначених для роботи за різних умов і параметрів ек-

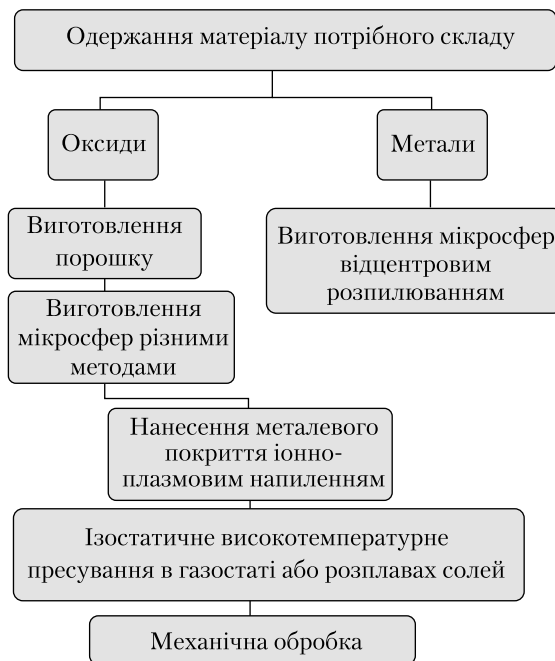


Рис. 4. Технологічна схема виготовлення дисперсійних матеріалів з металевою матрицею

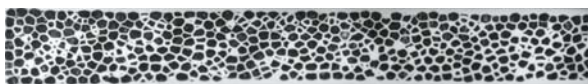


Рис. 5. Переріз поглинаючого елемента з металевою матрицею

сплуатації, обґрунтовано вибір оптимального поєднання поглинаючого і матричного матеріалів. У результаті було виготовлено і передано на радіаційні випробування експериментальні зразки таких дисперсійно-матричних систем:

- металевий гадоліній у матриці з молібдену (рис. 5);

- карбід бору (B_4C);
- оксид європію (Eu_2O_3);
- оксид диспрозію (DyO_2).

Результати випробувань засвідчили високу надійність і працездатність цих матеріалів. Розроблені технологічні прийоми можна застосовувати для створення широкого класу матричних систем.

Інша технологія, розроблена в ННЦ ХФТІ, пов'язана зі створенням дисперсійно-матрич-

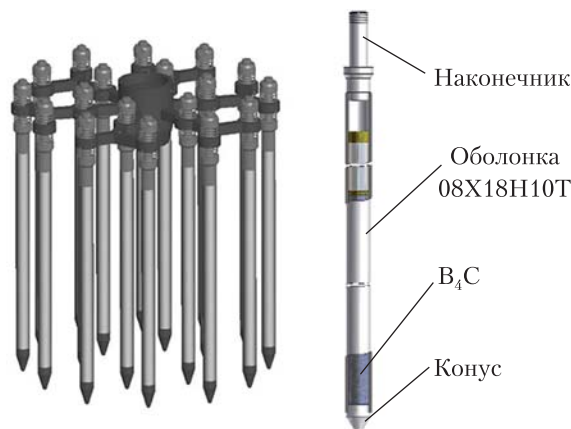


Рис. 6. Поглинаюча вставка для комплектації збірок відпрацьованого ядерного палива (а) і конструкція ПЕЛа поглинаючої вставки (б)

них систем з використанням методу піролізу вуглецевих сполук. Опрацьовано технологічні прийоми отримання нейтронпоглинаючого матеріалу B_4C за допомогою термоградієнтного методу ущільнення пористих заготовок піровуглецем. Створено композит B_4C - PuC .

Найбільш привабливими для практичного застосування є матеріали, які можна використовувати безпосередньо у вигляді конструкції ПЕЛів. До них належить металевий гафній.

Гафній — це рідкісний метал, який міститься в сировині для виробництва цирконію і за своїми властивостями близький до Zr , але через високий перетин поглинання нейтронів у гафнії цирконій прагнуть якомога глибше очистити від нього. Під час вивчення характеристик гафнію було показано, що він, як і цирконій, має високу корозійну стійкість у воді і може проявляти велике радіаційне зростання залежно від структурно-фазового стану.

Використовуючи напрацювання щодо регульованого структурно-фазового стану металів різних сингоній, фахівці ННЦ ХФТІ розробили технології виготовлення ПЕЛів стрижневої форми із застосуванням металевого гафнію, які мають задані характеристики радіаційної стійкості. Дослідні партії зразків матеріалів було передано на реакторні випробування, за результатами яких заводу-виробнику ПЕЛів для реакторів ВВЕР-1000 було запропоно-

вано провести спільне розроблення ПЕЛів з гафнієм з терміном експлуатації 25–30 років. Однак завод відмовився проводити ці роботи, оскільки застосування таких ПЕЛів призвело б до скорочення виробництва і втрати робочих місць.

На сьогодні питання використання гафнію залишається відкритим. Наразі в Україні згорнуто виробництво цирконію і гафнію, а тому наші розробки очікують свого часу.

У період становлення ядерної енергетики України дуже гостро стояло питання використання власного потенціалу для забезпечення експлуатації ядерних блоків і розвитку ядерної енергетики в цілому. Проте перевагу отримав інший підхід — навіщо витрачатися на створення свого, якщо все потрібне можна купити. Зрештою, до таких рішень спонукала й сама економічна система України. Оскільки АЕС не мали статті витрат на розроблення нових технічних рішень, їм було простіше купити ПЕЛи, а витрати на них закласти в паливну складову вартості електроенергії. Зокрема, саме з таких позицій виходили, коли закупили нові ПЕЛи з титанатом диспрозію, а від пропозиції ННЦ ХФТІ відмовилися.

Отже, тривалий час усі роботи за цим напрямом у ННЦ ХФТІ здійснювалися тільки в межах академічного фінансування, як матеріалознавчі дослідження. І лише тоді, коли гостро постала необхідність у поетапному формуванні в Україні максимально незалежного від РФ ядерного паливного циклу, в рамках змін у системі поводження з відпрацьованим ядерним паливом (ВЯП) було прийнято рішення більше не відправляти його на зберігання та переробку до Росії. Відповідно, потрібно було побудувати власні сховища ВЯП. На першому етапі на Запорізькій АЕС створили сухе контейнерне сховище, а перед НТК «Ядерний паливний цикл» ННЦ ХФТІ було поставлено завдання розробити конструкцію нейтронпоглинаючих систем для гарантування безпеки сухого зберігання ВЯП в контейнерах. В результаті проведених у ННЦ ХФТІ робіт було розроблено ПЕЛи стрижневої форми з використанням карбиду бору в порошковому вигляді

ді, а також конструкцію поглинаючої вставки для сухого зберігання відпрацьованого ядерного палива на Запорізькій АЕС (рис. 6).

Спочатку виробництво поглинаючих вставок здійснювали в НТК «Ядерний паливний цикл» ННЦ ХФТІ; було виготовлено 13 910 виробів (772 паливні вставки). Паралельно технологічні процеси впроваджували на заводі «Атоменергомаш», і з 2021 р. завод почав виробляти паливні вставки самостійно.

У рамках диверсифікації ядерного палива в Україні було прийнято рішення про використання власного потенціалу для розвитку систем керування та захисту (СУЗ) реакторів, організації виробництва ПЕЛів і поглинаючих стрижнів (ПС) для реакторів ВВЕР-1000.

ННЦ ХФТІ пропонував кілька варіантів конструкцій ПС СУЗ: з порошковими поглиначами; поглиначами у вигляді таблеток; гафнієвими стрижнями, але АТ «НАЕК «Енергоатом» у технічному завданні поставило вимогу — розробки мають бути аналогічними за матеріалами тим, що поставляються з РФ, щоб спростити процедуру отримання дозволу на експлуатацію в Державній інспекції ядерного регулювання України.

Згодом було розроблено технологію виготовлення нейтронпоглинаючих матеріалів (порошку титанату диспрозю), конструкції ПЕЛів і ПС СУЗ для ВВЕР-1000 України, методики та обладнання для випробувань, зокрема стенд для випробувань ПС СУЗ на скидання. Розроблені методики контролю елементного складу оксидів, фазового складу титанату диспрозю методом мас-спектрометрії з індуктивно зв'язаною плазмою було атестовано в НТЦ «Аналітстандартметрологія».

Дослідні партії ПС СУЗ для позареакторних випробувань у ННЦ ХФТІ виготовили спільно з філією ВП «Атоменергомаш», передали на завод технологію їх виробництва і провели навчання персоналу. Схему виготовлення порошкового варіанту ПЕЛів і ПС СУЗ для ВВЕР-1000 наведено на рис. 7 і рис. 8 відповідно.

Далі, згідно із затвердженою програмою робіт, мала бути виготовлена дослідна пар-

тія ПС СУЗ для реакторних випробувань, але розпочалася війна і територія, де розташований завод, потрапила під окупацію. Тоді НТК «Ядерний паливний цикл» взяв на себе зобов'язання спільно з філією ВП «Атоменергомаш» провести основні роботи з виготовлення дослідних партій для реакторних випробувань. Було підготовлено всю необхідну документацію для одержання дозволу на проведення реакторних випробувань, виготовлено дослідну партію ПС СУЗ в кількості 12 штук, яку прийняла комісія за участю представників Державної інспекції ядерного регулювання України, і на сьогодні ці ПС СУЗ поставлено у філію ВП «Рівненська АЕС».

Тепер АТ «НАЕК «Енергоатом» вирішує питання організації масового виробництва ПС СУЗ, тобто фактично йдеться про будівництво нового заводу, а поки НТК «Ядерний паливний цикл» ННЦ ХФТІ спільно з філією ВП «Атоменергомаш» виконує замовлення АТ «НАЕК «Енергоатом» з виготовлення збільшеної партії ПС СУЗ для реакторів ВВЕР-1000 з використанням лабораторного обладнання.

Одночасно виконуються роботи з обґрунтування нових циклів роботи ядерних блоків, у тому числі в режимах змінної потужності.

Крім того, є досить цікаве завдання з проектування удосконаленого способу завантаження паливом активної зони реакторів ВВЕР-1000 з рівномірним розподілом нейтронного потоку по всьому об'єму із застосуванням вигоряючого поглинача (рис. 9). Однак спочатку необхідно визначити економічну вигоду від таких рішень, провести фізичні розрахунки, а вже потім розпочинати роботи з вибору й обґрунтування нейтронпоглинаючих матеріалів. Звісно, такі завдання легше вирішувати під час проектування нових ядерних установок.

Загалом вирішення практично будь-яких завдань, пов'язаних із системами керування та захисту ядерних реакторів, потребує використання нових матеріалів. Такі роботи зараз здійснюються в ННЦ ХФТІ з урахуванням уже наявних можливостей та із залученням інших установ Академії для проведення фундаментальних матеріалознавчих досліджень і

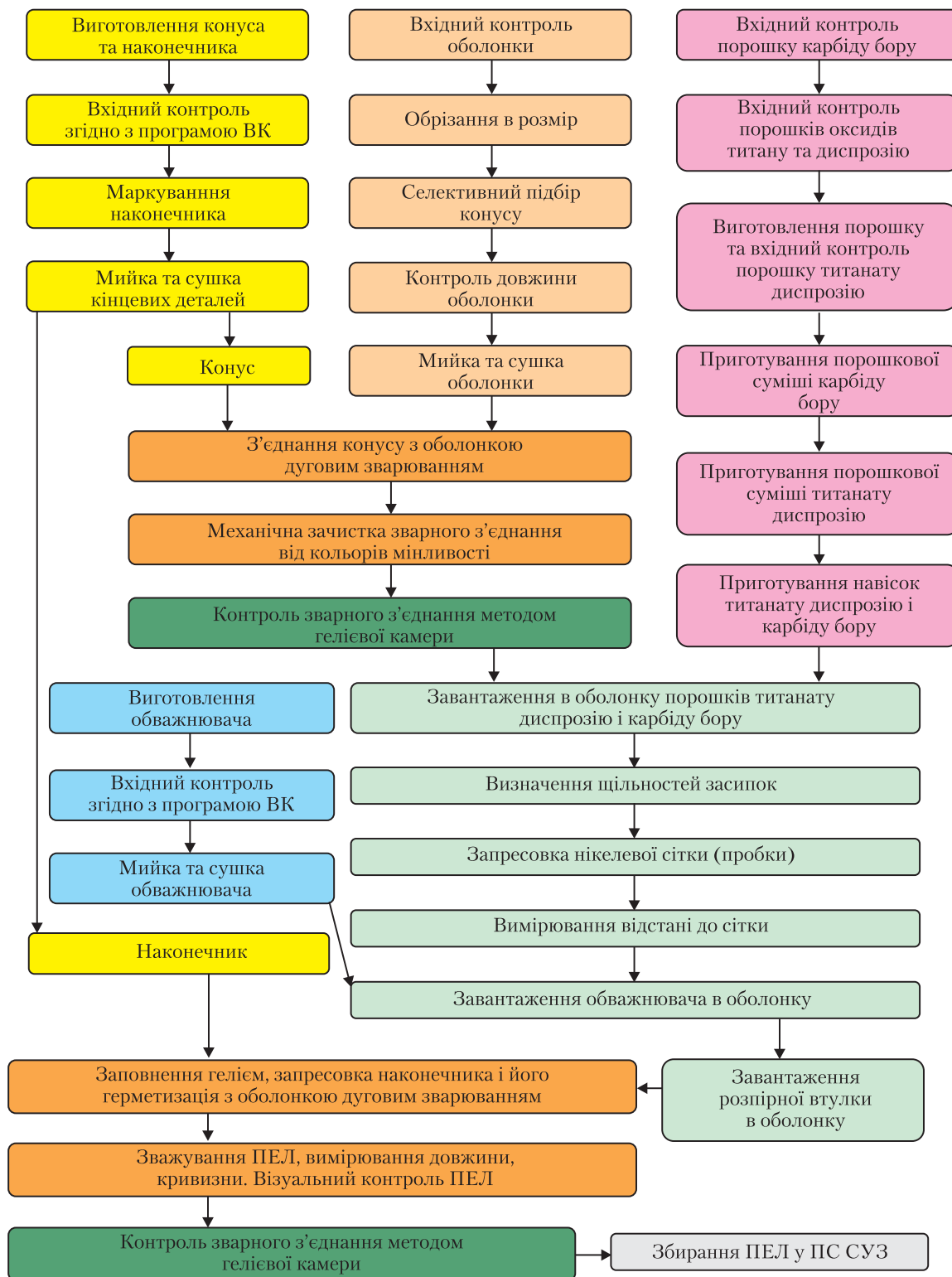


Рис. 7. Схема виготовлення порошкового варіанта ПЕЛів

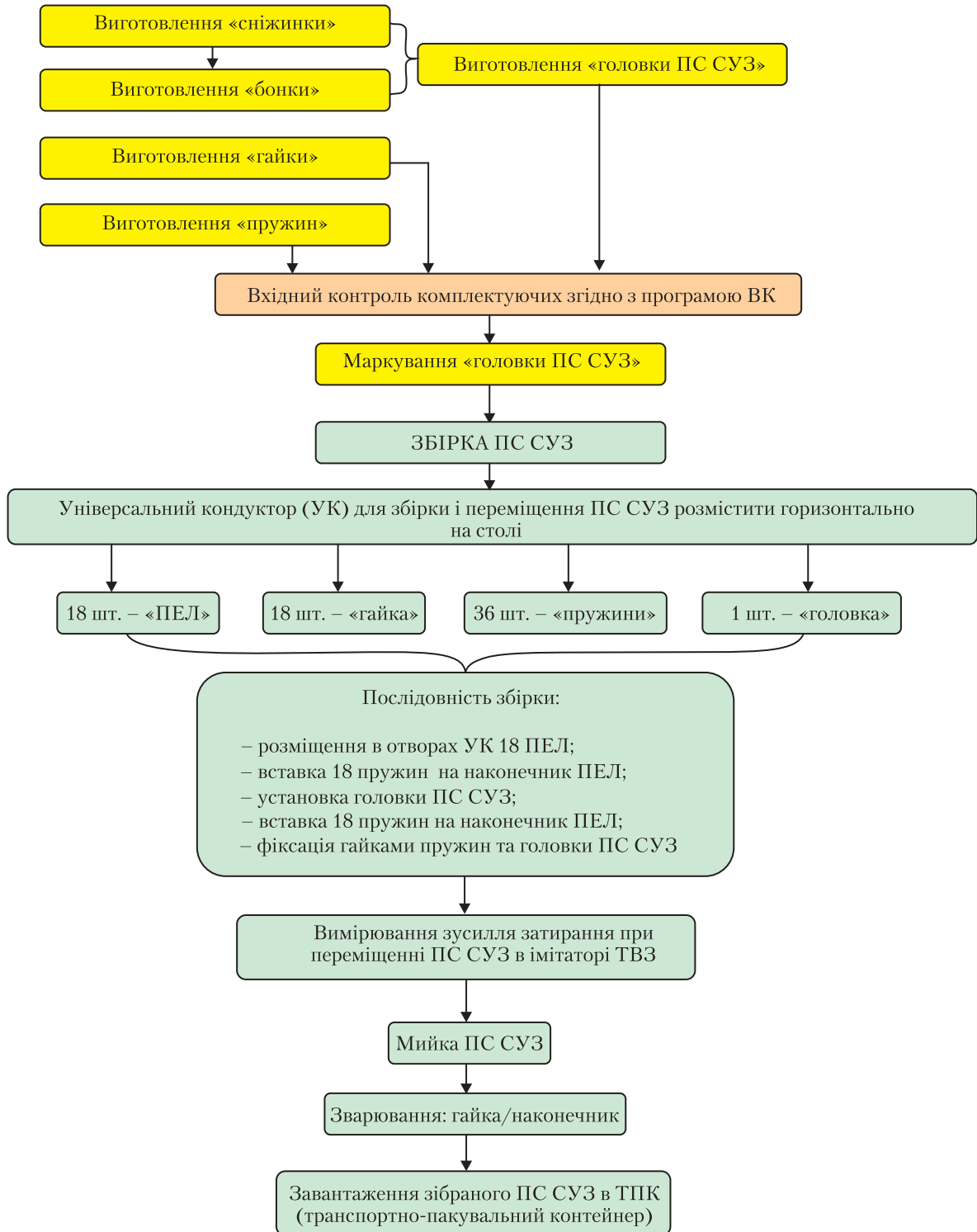


Рис. 8. Схема збірки ПС СУЗ для ВВЕР-1000

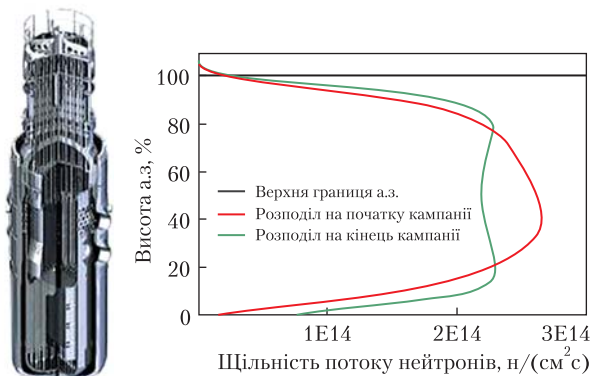


Рис. 9. Розподіл потоку нейтронів по висоті активної зони для реакторної установки В-320

опрацювання технологічних процесів. Ґрунтуючись на такому підході, до цих робіт долучилися фахівці НТК «Інститут монокристалів», оскільки в разі отримання позитивних результатів ця установа може взяти участь у виготовленні великих партій поглинаючих матеріалів.

Отже, на сьогодні ННЦ ХФТІ головну увагу приділяє вирішенню таких завдань.

1. На замовлення АТ «НАЕК «Енергоатом» спільно з філією ВП «Атоменергомаш» (постачання комплектуючих ПС СУЗ) виготовити збільшену партію ПС СУЗ (28 шт.) для дослідно-промислової експлуатації у ВВЕР-1000 України.

2. Розробити матеріали та вдосконалити ПЕЛІ з підвищеними характеристиками ефек-

тивності й надійності для штатних параметрів реакторів ВВЕР-1000 (рис. 10). Переважно це матеріали на основі бору, які можна виробляти в Україні. Ці розробки, як і наступні, передбачають можливість їх застосування в будь-яких реакторах водо-водяного типу, вже наявних і ще проєктованих, зокрема й у малих модульних реакторах.

3. Розробити матеріали і ПЕЛІ для роботи реакторів у режимах змінної потужності. На сьогодні це більшою мірою фундаментальні матеріалознавчі й технологічні напрацювання, які можна буде втілити в конкретні конструкції і технології в разі отримання відповідних завдань від споживачів – АТ «НАЕК «Енергоатом» або зарубіжних організацій.

Для виконання на високому рівні зазначених вище завдань необхідно зміцнити дослідну й технологічну базу ННЦ ХФТІ, а саме:

- розробити проєкт спеціальної дільниці для проведення робіт з нейтронпоглинаючими матеріалами, закріпити за НТК «Ядерний паливний цикл» відповідні площі та фахівців;
- з метою відновлення дослідно-промислового майданчика для складання та контролю ПС СУЗ на стенді випробувань після руйнувань, яких він зазнав унаслідок воєнної агресії РФ, провести ремонт будівель № 50 і № 57 ННЦ ХФТІ;
- придбати необхідне обладнання для реалізації передових технологій виготовлення і

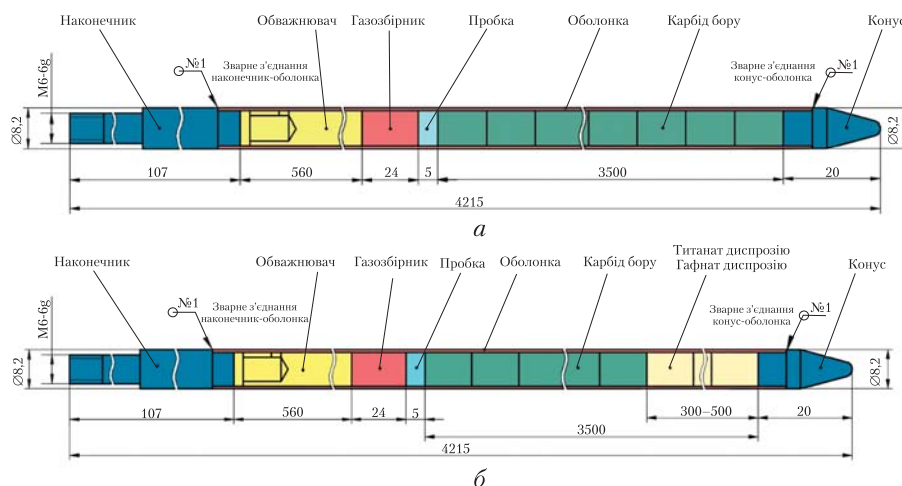


Рис. 10. Конструкції поглинаючих елементів з таблетковим поглиначем для ПС СУЗ реактора ВВЕР-1000: а – з поглинаючим сердечником з карбиду бору; б – з комбінованим поглинаючим сердечником

контролю матеріалів та конструкцій ПЕЛів і ПС СУЗ.

Слід зазначити, що під час розроблення нових елементів та виготовлення партій виробів для випробувань та експлуатації в діючих реакторах виникає велика невизначеність щодо забезпечення постачання матеріалів українського виробництва. На сьогодні рішення Президента України та Кабінету Міністрів України щодо налагодження виробництва матеріалів і компонентів ядерного палива в Україні не виконано. Навпаки, виробництво деяких необхідних матеріалів (сталей, цирконію, гафнію тощо) було згорнуто. АТ «НАЕК «Енергоатом» лише частково виробляє комплектуючі для тепловидільних збірок.

Зі змісту чинної стратегії розвитку атомної енергетики до 2035 року та ухваленої Кабміном Енергетичної стратегії України до 2050 року незрозуміло, які матеріали використовуватимуться для створення нових реакторів в Україні, зокрема малих модульних реакторів: або проєкт одразу буде ґрунтуватися на матеріалах іноземного виробництва, або, можливо, застосовуватимуться матеріали, розроблені й виготовлені в Україні. Спільно з Міністерством енергетики України та АТ «НАЕК «Енергоатом» необхідно детально проаналізу-

вати поточний стан і потенціал виробництва матеріалів для ядерної енергетики в Україні.

Слід зазначити, що нейтронпоглинаючі матеріали, поряд із ядерним паливом, є найважливішими складовими забезпечення безпеки та економічності роботи ядерних установок. Введення у структуру ядерної енергетики України нових реакторних блоків має супроводжуватися рішеннями щодо використання власних матеріалів, елементів і систем, які має бути передбачено при проєктуванні ядерних установок. При цьому варто не забувати про рішення щодо створення заводу з виробництва ядерного палива в Україні.

ННЦ ХФТІ здатний розробляти системи керування та захисту для будь-якого типу реакторів і спільно з АТ «НАЕК «Енергоатом» забезпечувати їх виробництво, зокрема й для іноземних споживачів.

Сьогодні на порядку денному створення Координаційної науково-технічної ради з організації спільних робіт, яка має розглянути всі зазначені вище питання і розробити програми дій відповідно до Генеральної угоди між НАН України та АТ «НАЕК «Енергоатом».

Дякую за увагу!

За матеріалами засідання підготувала О.О. Мележик

Volodymyr S. Krasnorutskyu

*National Science Center "Kharkiv Institute of Physics and Technology"
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kharkiv, Ukraine*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8953-0723>

THE STATE OF RESEARCH AND DEVELOPMENT ON THE CREATION OF MATERIALS AND ELEMENTS FOR THE ABSORBER RODS OF THE CONTROL AND PROTECTION SYSTEM OF NUCLEAR REACTORS OF UKRAINE

Transcript of scientific report at the meeting of the Presidium of NAS of Ukraine, January 24, 2024

The report is dedicated to the current activities on development of neutron absorbing materials for nuclear reactor control and protection systems, carried out at the National Science Center "Kharkiv Institute of Physics and Technology" and aimed at scientific and technical support of the nuclear fuel cycle in Ukraine. The most significant results of fundamental and applied research in the area of nuclear materials science, design and manufacturing technologies of absorber elements for various reactor types, including small modular reactors that are planned to be implemented in the nuclear energy structure of Ukraine are considered.

Cite this article: Krasnorutskyu V.S. The state of research and development on the creation of materials and elements for the absorber rods of the control and protection system of nuclear reactors of Ukraine. *Visn. Nac. Akad. Nauk Ukr.* 2024. (3): 77–87. <https://doi.org/10.15407/visn2024.03.077>