

ENGINEERING SCIENCES

DESIGN FEATURES INVESTIGATION OF SMALL MODULAR NUWARD REACTORS

ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ МАЛИХ МОДУЛЬНИХ РЕАКТОРІВ ТИПУ NUWARD

Yulia Malogulko¹

Mykola Slidenko²

DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-438-2-1>

Атомна енергетика – це галузь енергетики, яка використовує ядерні реакції для виробництва електроенергії. В Україні основним і наразі єдиним типом реактора, що використовується є важководний водододяний реактор. Зараз термін експлуатації більшості енергоблоків в Україні виходить у 2020-х – 2030-х роках, а вони виробляють близько 60% всієї електроенергії на рік. Важливим аспектом існування та розвитку української атомної енергетики є заміна старих енергоблоків АЕС на нові та розгортання більших потужностей, що пов'язано зі збільшенням споживання електроенергії в Україні та світі загалом. Сьогодні розвиток атомної енергетики не стоїть на місці, розробляються нові технології і підходи. Серед них варто відзначити розвиток малих модульних реакторів (ММР), які мають ряд значущих переваг.

ММР мають значно менші розміри порівняно з традиційними ядерними реакторами на сучасних АЕС. Це дозволяє їх встановлювати на обмеженому просторі, такому як міські райони або у важкодоступній місцевості. Зазвичай ММР складаються з набору невеликих модулів, які виготовляються заводським шляхом та транспортуються до місця встановлення. Як правило, ММР мають також і більші терміни експлуатації, що робить їх доволі привабливими з економічної точки зору. Більшість ММР використовують передові технології, спрямовані на забезпечення високого рівня безпеки. Малі модульні реактори є більш безпечними, у тому числі, за рахунок пасивних систем безпеки. Зараз основною ідеєю, яку можливо реалізувати в повній мірі – це заміна сучасних ТЕС на електростанції, що складатимуться з ММР.

¹ Vinnytsia National Technical University, Ukraine

² Vinnytsia National Technical University, Ukraine

Майданчики ТЕС вже мають низку готових рішень для переобладнання їх для спорудження малих модульних реакторів. Зокрема, це наявність розподільчого обладнання, власне земельна ділянка з відповідним цільовим призначенням, доступ до водойм та систем зберігання води, які необхідні для охолодження, а також залізничного та автомобільного зв'язків, які дозволяють зберегти логістичні ланцюги поставок палива. Тож переобладнання майданчиків ТЕС для спорудження ММР дозволить скоротити капіталовкладення та знизить вартість проекту будівництва атомних електростанцій [1].

Варто зазначити, що в найближчому майбутньому буде також реальною заміна атомних електростанцій (АЕС) на малі модульні реактори (ММР), оскільки ММР мають потенціал стати більш безпечними, ефективними та економічно вигідними джерелами енергії. По-перше, ММР можуть бути розміщені ближче до споживачів енергії, що дозволяє уникнути втрат енергії під час транспортування. По-друге, вони можуть бути легше відключені в разі необхідності обслуговування чи ремонту, що забезпечує більшу гнучкість енергосистеми. Але важливо будувати заводи з виробництва ММР саме в Україні, що містить багато позитивних факторів, таких як: розвиток високотехнологічної промисловості, залучення інвестицій, підвищення конкурентоспроможності, створення робочих місць, енергетична незалежність, підвищення статусу технологічної країни та ряд інших [2–3].

NUWARD розробляється як атомна електростанція з реактором типу SMR покоління III+ загальною чистою потужністю 340 МВт з двома незалежними реакторними модулями для забезпечення гнучкої експлуатації [4]. Це інтегрований реактор типу PWR з основними компонентами системи ядерного паропостачання (NSSS), включаючи механізм приводу регулюючого стрижня, парогенератор і турбокомпресор, повністю інтегровані в корпусі реактора (RPV). Укорочений корпус реактора розміщений у сталевому захисному корпусі, а його невеликі розміри дозволяють більш ефективно виготовляти цей модуль та встановлювати на місці. Спеціальна конструкція NUWARD включає в себе систему пасивної безпеки для всіх основних систем, яка не потребує зовнішнього втручання. Для врахування сезонних коливань, концепція набору реакторів на одній станції надає оператору ряд рішень для адаптації графіка технічного обслуговування. Принаймні один реактор станції завжди працює і постачає електроенергію в мережу, в той час як інший може перебувати у відключенні.

NUWARD реалізує спрощення конструкції за рахунок поєднання системи первинного охолодження реактора і підвищеної безпеки за допомогою систем пасивної безпеки. Реактор NUWARD – це повністю окремий реактор типу PWR, що містить в одному унікальному корпусі всі основні компоненти системи охолодження реактора, включаючи парогенератори, компенсатор тиску і механізми приводу регулюючих стрижнів (CRDM). Регулювання проведення ядерної реакції здійснюється за допомогою регулюючих стрижнів і твердих поглиначів нейтронів, що дозволяє спростити проектування і експлуатацію допоміжних систем як в нормальних, так і в аварійних ситуаціях. Система охолодження реактора NUWARD заснована на використанні інноваційної технології роботи парогенератора, що походить від різновиду пластинчастого теплообмінника, для якої були створені спеціальні конструкції враховуючи різновиди виробничого процесу, що дозволяють застосовувати її в ядерній енергетиці. У корпусі реактора NUWARD інтегрований реактор під тиском. Великий об'єм нагнітача тиску

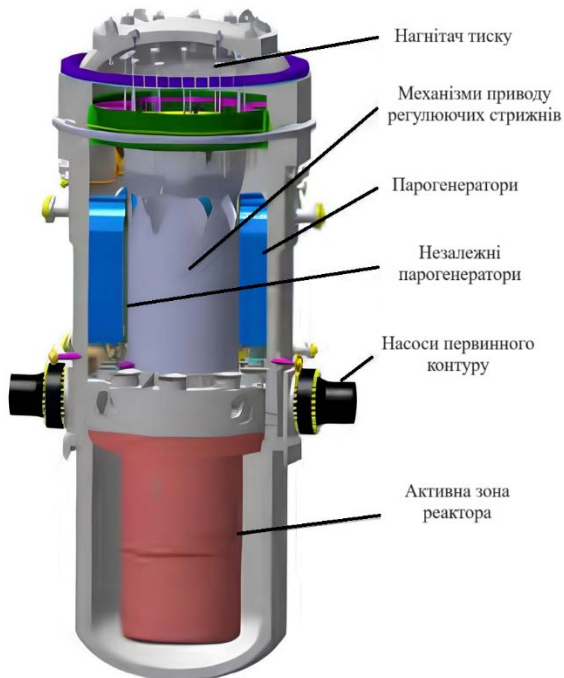


Рис. 1. Конструктивні особливості реактора типу NUWARD

забезпечує запас міцності для експлуатаційних перехідних процесів, а також для нормальної роботи реактора.

Таблиця 1

Основні технічні параметри реактора типу NUWARD

Технічні показники	
Тип реактора	iPWR (цілісний водо-водяний ядерний реактор)
Теплоносій/сповільнювач	Легка вода / Легка вода
Номинальна потужність (теплова/електрична)	2x540 МВт / 2x170 МВт
Тип циркуляції теплоносія	Примусова циркуляція
Тиск первинного контуру	15 МПа
Температура теплоносія на вході / виході	280 / 307 °С
Тип палива/тип ТВЕЛ	UO ₂ / Квадратне розташування 17x17
Максимальний відсоток збагачення палива	менше 5%
Кількість ТВЗ	76
Тривалість циклу однієї заправки паливом (в місяцях)	24
Використання встановленої потужності	95%
Метод керування зміною потужності	механізм руху регулюючих стрижнів зі сповільнювачем
Система безпеки	пасивна
Термін експлуатації (в роках)	60
Площа станції	3500 м ²
Висота/діаметр реактора	13/4 м
Вага	310 метро-тон
Сейсмічне планування	0,25g
Особливості	Висококомпактна система безпеки і захисна водяна оболонка, висока гнучкість системи

Що стосується відведення тепла від активної зони реактора: NUWARD включає в себе 2 потоки пасивної системи відведення тепла, які передають шляхом природної циркуляції тепло від активної зони до водяної оболонки, через два безпечних компактних парогенератора та 6 незалежних від звичайних парогенераторів. Що стосується контролю за станом роботи: NUWARD включає в себе функції безпеки для запобігання ризиків різних рівнів. Майданчик станції містить 2 незалежні модулі і пов'язаний з ними басейн збереження палива. Жодна система чи ресурс за

межами не потрібні для забезпечення безпечного стану реактора протягом щонайменше 3 днів.

Враховуючи дану ситуацію в країні, потреби заміни як старих блоків на наявних АЕС, так і заміна ТЕС і ТЕЦ на більш екологічні та дешевші в експлуатації станції, важливо зробити правильний вибір при можливому будівництві станцій типу MMP. Досвід України у використанні вододояних реакторах на АЕС, певно кращим буде вибір саме NUWARD, поводження з реакторами такого типу вже відоме та не потребуватиме перенавчання персоналу для можливого їх переведення на MMP. NUWARD має багато спільного з традиційними водо-водяними реакторами, і його впровадження може бути менш витратним і менш складним у порівнянні з іншими типами MMP.

Список використаних джерел:

1. Вербицька Т. В. Малі модульні реактори як альтернатива ТЕС: чисто, маневрово, ефективно. URL: <https://infoatom.news/2023/01/06/060120231211>
2. Малогулко Ю. В., Сліденко М. О. Аналіз функціонування малих модульних реакторів типу CAREM : матеріали ЛІІ науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ. Вінниця, 2023. С. 2184–2190. URL: <https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/book/788> ISBN 987-966-641-942-5
3. Малогулко Ю. В., Сліденко М. О. Перспективи впровадження технологій використання малих модульних реакторів : матеріали ЛІІІ науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ. Вінниця, 2024. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feeem/all-feeem-2024/paper/view/19751/16382>
4. Advances in Small Modular Reactor Technology Developments A Supplement to: IAEA Advanced Reactors Information System (ARIS) 2020 Edition. Austria, September 2020. URL: https://aris.iaea.org/Publications/SMR_Book_2020.pdf