

МАЛОГУЛКО ЮЛІЯ

Вінницький національний технічний університет

<https://orcid.org/0000-0002-6637-7391>e-mail: Juliya_Malogulko@ukr.net

БАНДУРА ІРИНА

Луцький національний технічний університет

<https://orcid.org/0000-0003-2166-4909>e-mail: bandura1975@i.ua

СЛІДЕНКО МИКОЛА

Вінницький національний технічний університет

<https://orcid.org/0009-0008-8693-810X>e-mail: slidenkonick@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ МАЛИХ МОДУЛЬНИХ РЕАКТОРІВ В УКРАЇНІ

В роботі наведено результати досліджень новаторських технологій у сфері ядерної енергетики, а саме – використання малих модульних реакторів, які відрізняються від звичайних атомних електростанцій зменшеною потужністю, меншими розмірами, більшою гнучкістю у регулюванні потужності, високим рівнем пасивної безпеки та можливістю масового виробництва. У статті проведено аналіз основних параметрів, різновидів, переваг та недоліків використання малих модульних реакторів, а також розглянуті перспективи їхнього застосування в Україні.

Ключові слова: малий модульний реактор, атомна електростанція, регулювання потужності.

MALOHULKO YULIYA

Vinnytsia National Technical University

BANDURA IRYNA

Lutsk National Technical University

SLIDENKO MYKOLA

Vinnytsia National Technical University

THE RESEARCH OF THE SMALL MODULAR REACTORS USE IN UKRAINE

With the growth of the world population and the rapid development of the economy, the modern world is facing challenges related to energy security and sustainability. In this context, nuclear energy becomes an extremely important element of the modern energy system. Nuclear energy ensures the reliability of electricity supply, reduces dependence on coal and oil reserves and is one of the most environmentally safe forms of energy. Operating reactors have a maximum service life of 40-50 years, and SMRs will have almost 1.5 times longer service life, taking into account the fact that they will maneuver, and about 2 times more service time, if the number of power changes is minimized, that is, will be used only to replace the fuel, actually generate the base power. Safety is the main factor in the operation of such facilities. It is the highest priority in Ukraine, and only after confirming the safety of the technology are all other factors considered, including economic ones. Small modular reactors are safer, including due to passive safety systems. This means that even in the event of a nuclear winter, when a person will not be able to be present at the reactor control panel, will not be able to supervise and control the state of the power unit, the safety systems will independently, without human intervention, transfer the reactor to a safe state. Such safety systems reduce the risks of serious nuclear accidents. A positive characteristic of SMRs is their smaller size compared to traditional reactors, this gives a lot of freedom when installing SMRs, in fact they can be placed in regions with limited access to build transit power lines to provide electricity to consumers and in the most remote regions, in fact create "energy islands". As follows from general logic, the maximum capacity of SMR is 300 MW, and that of traditional reactors is 1100 MW, that is, three times less, and accordingly, the costs of building a separate SMRs will be lower. Although from an economic point of view, the cost of manufacturing SMRs per unit of installed capacity will be somewhat higher than that of traditional ones. This factor is offset by the fact that greater environmental safety will be achieved in the event of accidents, the tragic experience of which is already known to Ukraine and several countries in the world.

Keywords: small modular reactor, nuclear power plant, power regulation.

Постановка проблеми

Атомна енергетика базується на явищі ядерного поділу, коли атоми важких елементів, таких як уран або плутоній, розщеплюються на менші атоми, вивільняючи велику кількість енергії та нейтронів. Ці нейтрони можуть викликати подальший поділ атомів, створюючи ланцюгову реакцію, яка може бути контрольованою або неконтрольованою. Перші експерименти з ядерним поділом були проведені в 1930-х роках відомими фізиками, такими як Енріко Фермі, Отто Ган, Лізе Мейтнер та Фрідріх Штрассман. У 1942 році Енріко Фермі та його команда досягли першої самопідтримуваної ядерної ланцюгової реакції в експериментальному реакторі під стадіоном Чиказького університету. Це було частиною секретного проекту Мангеттен, який мав на меті створити першу атомну бомбу. Після війни багато країн почали розвивати ядерну енергетику для мирних цілей, таких як виробництво електроенергії, медицина, наука та промисловість. Ядерна енергетика продовжує розвиватися і вдосконалюватися, використовуючи нові технології, матеріали та дизайни. Одним з напрямків розвитку є створення малих модульних реакторів (ММР) [1-4].

Аналіз останніх джерел

Малі модульні реактори – не нова, але новітня технологія. Реактори малої потужності мають свою історію, яка бере свій початок ще з 40-х років минулого сторіччя. Основна ідея їхнього створення виникла в

результаті досліджень та розробок, ініційованих Військово-повітряними силами США, армією та флотом. Найбільш подібний до ММР був реактор, розроблений американською армією в рамках воєнної ядерно-енергетичної програми. Тоді було збудовано вісім реакторів малої потужності. Усі вони розміщувались на однакових по характеристиках майданчиках, які на сьогодні також вважаються перспективними для спорудження ММР [5]. Минулі напрацювання стали основою для створення ММР для задоволення енергетичних потреб світу та зменшення кліматичних змін.

Майданчики ТЕС 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 дозволять зберегти логістичні ланцюги поставок палива. Також на ТЕС є низка інших систем та будівель, які можна перепрофілювати. Це системи стисненого повітря, хімічні склади, система зберігання технічних газів, системи очищення стічних вод, мобільне підйомне обладнання, адміністративні будівлі тощо. Крім того, на ТЕС вже є кваліфіковані кадри. Звісно ж, їх потрібно буде дещо перекваліфікувати. Але збереження людського потенціалу та робочих місць відіграє важливу суспільну роль, зменшить соціальну напругу у регіоні та підтримуватиме розвиток громад. Тож переобладнання майданчиків ТЕС для спорудження ММР дозволить скоротити капіталовкладення та знизить вартість проекту будівництва атомних електростанцій [6].

Вагомим показником переваги ММР є також і термін експлуатації та фактичне перевищення терміну експлуатації наявних в Україні реакторів. На сьогодні термін експлуатації більшості енергоблоків виходить у 2020-2030-х роках, тому варто вже зараз будувати нові потужності, аби запобігти дефіциту електроенергії в країні. ММР можуть бути вдалою альтернативою для заміни застарілих реакторів, оскільки вони мають довший термін служби. Крім того, ММР можуть бути інтегровані в існуючі енергетичні мережі України, забезпечуючи стабільність та гнучкість енергопостачання. Усе залежить від проекту, проте можливо досягти великого терміну експлуатації – 40-80 років [7].

В залежності від типу реактора можливе навіть використання ядерних відходів з великих АЕС на ММР, наприклад реактори на швидких нейтронах. Ці реактори використовують спеціальний дизайн, що дозволяє використовувати паливо, яке містить плутоній та інші важкі елементи, які утворюються під час роботи звичайних атомних електростанцій, а також і те паливо, що використовується на великих АЕС [8].

Важливо те, що хоч і ММР та АЕС працюють на радіоактивному паливі, радіаційний фон поблизу ТЕС є вищим, ніж на АЕС, тому впровадження ММР замість вже існуючих ТЕС, також позитивно вплине на екологію та стан здоров'я персоналу станції. Ще одним позитивним фактором для будівництва ММР на заміну ТЕС чи доповнення до АЕС можна зазначити меншу площу території необхідної для будівництва всіх необхідних приміщень та установок. Якщо традиційний реактор займає площу близько 400 тис м², то ММР – 40 тис м² [9]. Міненерго має амбітні цілі розмістити 20 малих реакторів SMR-160 американської компанії Holtec International замість пошкодженої теплової генерації. За два роки планують провести ліцензування і побудувати пілотний блок, ще за три – розмістити два десятки нових модульних реакторів [9]. Holtec International, яка і розробила дану модель реактора вже доволі давно працює на українському ринку і загалом є досить відомою у світі компанією. Раніше ця ж компанія запровадила чотири нові проекти в Україні, що стосуються саме атомної енергетики.

Метою роботи є: дослідження використання малих модульних реакторів в Україні.

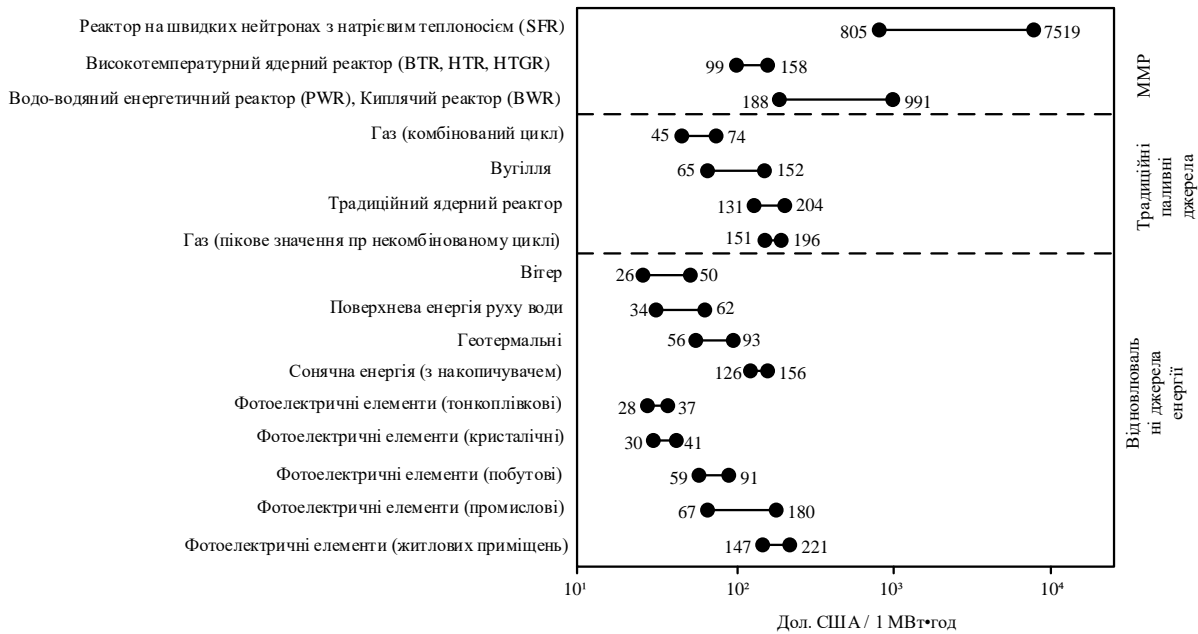
Виклад основного матеріалу

Основною перевагою ММР є саме висока маневреність потужністю, фактично часом досягнення піку потужності та мінімальної, який становить в середньому 27 і 25 хвилин відповідно, в порівнянні з великими АЕС цей час значно перевищує наведений для ММР. Таким чином, не стоїть нагальним питання заміна саме традиційних АЕС на даному етапі розробок, а заміна маневрених ТЕС/ТЕЦ в енергосистемах країн на більш екологічні ММР. Особливо чітко це помітно в сучасній частці вироблення електроенергії на ТЕС/ТЕЦ в світі, цей показник коливається в межах 43-56%, в порівнянні з АЕС – близько 10%. Час розгортання потужності на ТЕС/ТЕЦ також лежить в межах 20-30 хвилин, тому досить впевнено можна сказати, що за цим показником на даному етапі розробок ММР не поступаються ТЕС.

Варто зазначити, що витрати на будівництво традиційних АЕС значно зростають в ході будівництва, яке триває близько 10 років та може дещо продовжуватись, через ряд обставин, що не виключено і по відношенню до ММР, але враховуючи менші потужності одного такого реактора та терміну будівництва, навіть у разі невдачі не призведе до великих економічних збитків. Як показують дослідження вартість спроектованих ММР зростають, що робить їх дещо нерентабельними в порівнянні з наявними реакторами встановленими на сучасних АЕС. Варто зазначити, що на даному етапі важливо розглядати ММР, як заміну ТЕС, а в порівнянні з ними економічні показники, які включають багато факторів, серед яких вартість не лише будівництва, а і експлуатації та терміну служби, робить їх більш перспективними.

Порівняння питомої вартості електроенергії на сьогоднішній день приведена на рис. 1.

SMR-160 - це малий модульний реактор з легкою водою під тиском, який генерує 160 MW (таблиця 1). Суттєвим відмінністю конструкції є її абсолютна безпека, яка є важливою для отримання державної підтримки та схвалення регуляторних органів для різноманітних застосувань та розподіленого виробництва [9].



1. Порівняння питомої вартості електроенергії в доларах США на 1 МВт·год

Рис.

Таблиця 1

Основні технічні показники SMR-160

Технічні показники	
Тип реактора	PWR (Водо-водяний ядерний реактор)
Теплоносій/сповільнювач	Легка вода / Легка вода
Номинальна потужність (теплова/електрична)	525 МВт / 160 МВт
Тип циркуляції теплоносія	Природна циркуляція
Тиск первинного контуру	15,5 МПа
Втрати первинного контуру	3,8 · 10 ⁶ кг/год
Тиск вторинного контуру	3,4 МПа
Втрати вторинного контуру	7 · 10 ⁵ кг/год
Тип палива/тип ТВЕЛ	UO ₂ / квадратна решітка
Максимальний відсоток збагачення палива	4,95%
Кількість ТВЗ	112
Тривалість циклу однієї заправки паливом (в місяцях)	18 – 24
Використання встановленої потужності	95%
Метод керування зміною потужності	Рух хрестоподібних регулюючих стрижнів
Термін експлуатації (в роках)	80-100

Можливість виготовлення всіх конструктивних елементів SMR-160 в автоматизованому порядку на заводах-виробниках, що полегшить та здешевить вартість виготовленого обладнання на протипагу індивідуального виготовлення кожного елемента для сучасних АЕС. Також можлива доставка до місця збору значно полегшиться через невеликі розміри і можливість доставки вантажівками практично в будь-який куточок світу. Проектний термін експлуатації такого реактора 80-100 років. Терміни будівництва – 2-3 роки [10]. У цьому відношенні можливо розпочати швидке будівництво одразу декількох таких установок, що є більш привабливим і з економічної, і з технологічної точки зору, в порівнянні з великими блоками сучасних типів АЕС. На відміну від сучасних експлуатаційних установок, даний тип реактора спроектований таким чином, що вся охолоджуюча вода, яка необхідна для безпечного відключення станції, навіть при найсерйозніших аваріях, є невід'ємною частиною установки і розміщена таким чином, щоб запобігти перегріву реактора. Оскільки система безпеки станцій, що мають доступ до системи подачі охолоджуючої води SMR-160 (рис. 1.2), є пасивною, тобто вона працює виключно під дією сили тяжіння для забезпечення відведення відпрацьованого тепла, що утворюється в результаті роботи реактора.

Реактор створений на основі вже існуючої технології водо-водяного реактора, який є найбезпечнішим з існуючих. Важливим елементом є ступінь автоматизації даного реактора, так як реагування на проектні аварії не потребують втручання оператора для її усунення, що дає змогу виключити людський фактор і зменшує ймовірність невірних дій оператора в аварійних ситуаціях, підкріплених можливим стресом у даній ситуації. Тривалість роботи одного циклу завантаженого палива має досить великий термін від півтора року до двох, він здебільшого буде залежати від типу експлуатації, тобто від роботи в різних режимах навантаження, при великих кількостях регулювання термін експлуатації не повинен перевищувати півтора року.

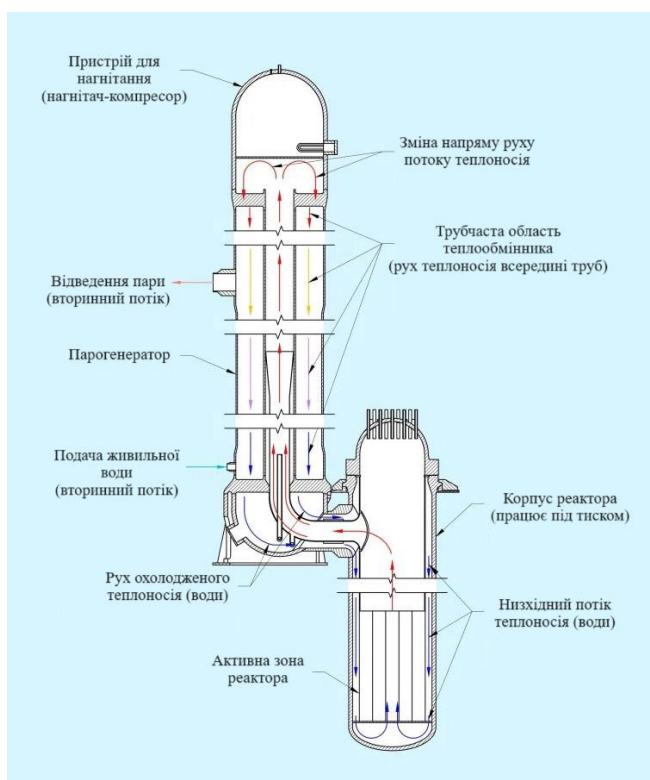


Рис. 2. Загальний вигляд та складові реактора SMR-160

Активна зона реактора розташована нижче рівня ґрунту, що зменшує вплив можливих зовнішніх загроз. Захисна оболонка складається з залізобетонної оболонки товщиною близько двох метрів, що зсередини містить вставку металічної герметичної оболонки товщиною близько чотирьох сантиметрів. Весь радіоактивний вміст знаходиться всередині цієї оболонки, що розміщений до того ж нижче рівня ґрунту, як і резервуар зі збереження відходів, що містить більшу товщину близько трьох метрів, що з розташованими каналами для охолодження збільшує безпеку даного об'єкту.

Система контролю та керування створена Mitsubishi Electric Company, містить розділену інтегровану систему управління та автоматизації з можливістю доповнення та навіть докорінного перезапису кодів керування роботою реактора. Як зазначалось вище в разі аварійних ситуацій дана система автоматично буде виведення в режим відповідного аварійного керування, що не потребує втручання персоналу. Дана система вже працює на декількох енергетичних та не тільки об'єктах та доволі добре зарекомендувала себе, особливо в ситуаціях близьких до аварійних. В конструкції реактора закладено декілька систем охолодження, що в їх поєднанні зумовлює підвищення рівня безпеки енергетичного об'єкту. До неї входять такі системи охолодження як: система первинного, вторинного охолодження, система автоматичного скиду води при перевищенні тиску вище допустимого рівня, система пасивного водозабору активної зони.

Очікується, що малі реактори, модульні, будуть дорожчими на одиницю продукції через те, що економісти знають десятиліттями і називають економією від масштабу. Більші реактори (або інші електростанції) дешевші в перерахунку на мегават, тому що їх капітальні та експлуатаційні витрати, які представляють вимоги до матеріалів і робіт, не є лінійно пропорційними до потужності виробництва. Це відображається в загальному правилі, яке використовується в промисловому інжинірингу, де використовується степеневий закон для зв'язку капітальних витрат виробничих потужностей з різною потужністю, з показником експоненти, який зазвичай обирається рівним 0,6. В інших дослідженнях використовуються інші числа для експоненти (наприклад, 0,55 у дослідженні Канадської ядерної лабораторії), але в жодному з них не передбачається, що експонента буде дорівнювати одиниці. З показником 0,6, якщо є дві станції розміром S_1 і S_2 , співвідношення їх капітальних витрат K_1 і K_2 має вигляд:

$$\frac{K_1}{K_2} = \left(\frac{S_1}{S_2} \right)^{0,6} \quad (1)$$

Вираз (1) означає, що за інших рівних умов вартість будівництва ММР потужністю 160 МВт, як у SMR-160, становитиме близько 33% від вартості будівництва реактора потужністю 1000 МВт, тоді як він вироблятиме лише 16% електроенергії. Таким чином, ММР потужністю 160 МВт має приблизно в 3 рази більшу вартість за 1 МВт потужності. Аналогічно, експлуатація ММР також буде дорожчою в розрахунку на МВт потужності порівняно з великим реактором через ефект масштабу. Обидва ці фактори призведуть до вищої вартості одиниці виробленої електроенергії. Розробники малих модульних і вдосконалених ядерних

реакторів часто виступають проти застосування таких законів масштабування, оскільки, на їхню думку, їхні проекти настільки відрізняються від сучасних реакторів, що це робить масштабування неможливим. Хоча в цьому може бути частка правди, і ці степеневі закони не можна вважати точними способами розрахунку витрат, загальний принцип про економічні втрати через менший розмір все одно залишається в силі. Крім того, з цього аргументу про відмінності в дизайні випливають два висновки.

По-перше, відсутність досвіду роботи з цими проектами означає, що оцінки вартості і часу будівництва є набагато більш невизначеними, і, ймовірно, будуть страждати від величезних перевитрат, які були типовими для "перших у своєму роді" проектів. По-друге, нові проекти означатимуть, що процес отримання дозволів на безпеку має бути більш складним, принаймні в будь-якій добре продуманій і добре функціонуючій регуляторній системі, а отже, і більш дорогим. Щоб дати уявлення про масштаби витрат, наприклад розробка проекту MMP NuScale до березня 2020 року коштувала 957 мільйонів доларів, з яких уряд США виділив 314 мільйонів доларів. Очікується, що ще від 500 до 700 мільйонів доларів буде витрачено до того, як проект отримає схвалення регуляторних органів для початку будівництва. Ця загальна вартість досліджень і розробок у розмірі приблизно 1,5 мільярда доларів стосується зменшеної конструкції легководного реактора, найбільш поширеної конструкції ядерного реактора у світі. Абсолютно нові проекти, передбачені розробниками SMR, повинні коштувати ще більше, щоб перетворитися з концептуального проекту на проект, на який буде видана ліцензія на будівництво. Приватний сектор просто не має апетиту до таких великих ризикованих інвестицій. Але враховуючи досвід з іншими новими технологіями, що впроваджуються, наприклад сонячні панелі, які на початку свого створення теж мали високі показники капіталовкладень, можна припустити, що налагодження фабричного виробництва такого типу реакторів значно здешевить їх. До того ж не варто забувати, що людство прагне до збільшення безпеки таких проектів, тому вони всі будуть мати більші капіталовкладення, аби забезпечити дотримання максимальної безпеки в експлуатації, та й час роботи буде тривалішим за сучасні ядерні реактори.

Зараз при високому показнику зруйнованих та пошкоджених теплових електростанцій та електроцентралей, через масовані ракетні атаки на дані об'єкти, з'явилась потреба у їх ремонті та будівництві вже повністю зруйнованих. Розглянемо також порівняння вартості MMP в порівнянні з будівництвом нових ТЕС/ТЕЦ.

Тариф, діючий зараз для ТЕС у 3 рази перевищує тариф на електроенергію атомних електростанцій (АЕС). Однак, реконструкція, яку виконують зараз власники ТЕС, спрямована, судячи зі всього, на вижимання з обладнання «пенсійного» віку навіть того, що вичавити з нього вже неможливо. Кількість реконструйованих блоків зростає і... зростає витрата палива на вироблення електроенергії [11].

Хоча вартість MMP атомного енергоблоку значно вище аналогічного для ТЕС, ми стикаємось з тією ж перевагою, що і у випадку з традиційним енергоблоком АЕС: тривалість експлуатації буде тривалішою, безпечність буде вищою.

Всього по ОЕС України на ТЕС ГК планується побудувати 2 вугільні енергоблоки по 330 МВт кожний за технологією ЦКШ (циркулюючий киплячий шар) на Слов'янській ТЕС ПАТ «Донбасенерго» (Донецька область) у 2020 і 2022 роках відповідно. Загальна вартість будівництва зазначених об'єктів оцінюється в сумі 6,8 млрд. грн., розрахункова вартість 1 кВт встановленої потужності складає 10,3 тис. грн. Планом розвитку передбачено також добудову протягом 2016-2022 років третього та четвертого енергоблоків Хмельницької АЕС відповідно до схваленого Кабінетом Міністрів України ТEO (розпорядження КМ України від 04.07.2012 р. № 498-р). Вартість цього будівництва оцінюється в сумі 36,4 млрд. грн.

На Хмельницькій АЕС потужність кожного з побудованих 3 і 4 енергоблоків становить 1000 МВт кожна. Тепер за аналогічною формулою ми можемо порівняти вартість одного блоку MMP потужністю 160 МВт на одиницю потужності 1 кВт з ТЕС. Провівши прості розрахунки, поділивши загальну вартість будівництва двох блоків на АЕС на встановлену потужність, вартість 1 кВт встановленої потужності складає 18,2 тис. грн., а так як капіталовкладення на побудову MMP становить 33%, вартість 1 кВт встановленої потужності SMR-160 становитиме 54,651 тис. грн., тобто він матиме більшу вартість побудови, ніж теплова електростанція в розрахунку на 1 кВт майже в 5 раз. Але значним фактором зменшення вартості побудови матиме не лише вище зазначені фактори, а й побудова MMP на вже побудованих майданчиках ТЕС/ТЕЦ, звісно, в залежності від наявних інфраструктурних об'єктів здешевшання може становити близько 20-37% і тоді вартість побудови на 1 кВт встановленої потужності MMP становитиме від 34,43 і до 43,721 тис. грн., і тоді вартість перевищуватиме лише в 3-4 рази в порівнянні з ТЕС/ТЕЦ і 1,9-2,4 рази в порівнянні з АЕС.

Висновки

Впровадження нової технології – це великий виклик не лише для України, а й для світу. Для України в даній ситуації російської агресії важливо бути енергетично незалежними та забезпечити стабільну роботу енергосистеми у будь-який час. Будівництво та введення в експлуатацію нової технології MMP потребує залучення великих інвестицій у економіку нашої країни, так як в період війни важко, та навіть неможливо буде знайти такі кошти з власних надходжень. Потрібно також забезпечити необхідну правову базу для роботи таких об'єктів та врегулювання питання інвестицій в цей сектор енергетики, адже ядерна безпека є ключовою вимогою для створення таких амбітних проектів. Також необхідно створити виробництво деталей

до ММР саме в Україні, що збільшить інтерес інших країн до інвестицій та здешевить вартість побудови для нашої держави. Збільшуючи встановлену потужність виробництва електроенергії, в нас буде можливість експортувати її закордон в періоди її надлишку, що ще й збільшить термін експлуатації ММР та тривалості роботи одного циклу завантаженого палива, адже кількість змін потужності в широких межах зменшиться.

Література

1. Копішинська К. О. Сучасний стан та перспективи інноваційного розвитку атомної енергетики України / К. О. Копішинська, І. С. Широкова // Економічний вісник НТУУ «КПІ», 2019. С. 350-359.
2. Advances in Small Modular Reactor Technology Developments: A Supplement to: Advanced Reactors Information System (ARIS) 2020 Edition, Int. At. Energy Agency, Vienna, Austria, 2020
3. J. Hansen «It's the future': How going small may fuel nuclear power's comeback» CBC News, Jun. 25, 2019
4. Малогулко Ю. В. Аналіз функціонування малих модульних реакторів типу CAREM [Електронний ресурс] / Ю. В. Малогулко, М.О. Сліденко // Матеріали ЛІІ науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 2023 р. 2184-2190 с.– Електрон. текст. дані. – 2023. – Режим доступу: <https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/book/788> ISBN 987-966-641-942-5
5. Що таке малі модульні реактори, будівництво яких розглядає Україна Режим доступу URL: https://biz.censor.net/resonance/3403084/scho_take_mali_modulni_reaktory_budivnytstvo_yakyh_rozglyadaye_ukrayina.
6. Малі модульні реактори як альтернатива ТЕС: чисто, маневрово, ефективно. Режим доступу URL: <https://infoatom.news/2023/01/06/060120231211>
7. Міні-АЕС для України: чи врятують країну малі модульні реактори, про які згадував Зеленський Режим доступу URL: <https://www.epravda.com.ua/publications/2022/11/18/693990/>
8. Міненерго хоче побудувати 20 малих ядерних реакторів. Режим доступу URL: <https://forbes.ua/company/minenergo-khoche-pobuduvati-20-malikh-yadernikh-reaktoriv-tsyu-tekhnologiyu-shche-ne-realizuvav-nikhto-v-sviti-skilki-vona-mozhe-koshuvati-24032023-12541>
9. Асоціація «Український Ядерний Форум». Режим доступу URL: http://www.atomforum.org.ua/news/2020/malij_modulnij_reaktor_holtec_smr_160_pislya_10_rokiv_rozrobki_vstupaye_v_proces_licenzuvannya_usnr
10. Нові реакторні технології: реалії та перспективи. Режим доступу URL: <https://www.uatom.org/2020/07/24/novi-reaktorni-tehnologiyi-realiyi-ta-perspektivi.html>
11. Як в електроенергетиці України нарешті перейти від виживання до розвитку. Режим доступу URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/2461714-ak-v-elektroenergetici-ukraini-naresti-perejti-vid-vizivanna-do-rozvitku.html>

References

1. Kopishynska K. O. Suchasnyi stan ta perspektyvy innovatsiinoho rozvytku atomnoi enerhetyky Ukrainy / K. O. Kopishynska, I. S. Shyrokovka // Ekonomichnyi visnyk NTUU «KPI», 2019. S. 350-359
2. Advances in Small Modular Reactor Technology Developments: A Supplement to: Advanced Reactors Information System (ARIS) 2020 Edition, Int. At. Energy Agency, Vienna, Austria, 2020
3. J. Hansen «Its the future: How going small may fuel nuclear powers comeback» CBC News, Jun. 25, 2019
4. Malohulko Yu. V. Analiz funktsionuvannya malykh modulnykh reaktoriv typu CAREM [Elektronnyi resurs] / Yu. V. Malohulko, M.O. Slidenko // Materialy LII naukovo-tekhnichnoi konferentsii pidrozdiliv VNTU, Vinnytsia, 2023 r. 2184-2190 s.– Elektron. tekst. dani. – 2023. – Rezhym dostupu: <https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/book/788> ISBN 987-966-641-942-5
5. Shcho take mali modulni reaktory, budivnytstvo yakykh rozghliadaie Ukraina Rezhym dostupu URL: https://biz.censor.net/resonance/3403084/scho_take_mali_modulni_reaktory_budivnytstvo_yakyh_rozglyadaye_ukrayina
6. Mali modulni reaktory yak alternatyva TES: chysto, manevrovo, efektyvno. Rezhym dostupu URL: <https://infoatom.news/2023/01/06/060120231211>
7. Mini-AES dlia Ukrainy: chy vriatuiut krainu mali modulni reaktory, pro yaki zghaduvav Zelenskyi Rezhym dostupu URL: <https://www.epravda.com.ua/publications/2022/11/18/693990/>
8. Minenerho khoche pobuduvaty 20 malykh yadernykh reaktoriv. Rezhym dostupu URL: <https://forbes.ua/company/minenergo-khoche-pobuduvati-20-malikh-yadernikh-reaktoriv-tsyu-tekhnologiyu-shche-ne-realizuvav-nikhto-v-sviti-skilki-vona-mozhe-koshuvati-24032023-12541>
9. Asotsiatsiia «Ukrainskyi Yadernyi Forum». Rezhym dostupu URL: http://www.atomforum.org.ua/news/2020/malij_modulnij_reaktor_holtec_smr_160_pislya_10_rokiv_rozrobki_vstupaye_v_proces_licenzuvannya_usnr
10. Novi reaktorni tehnolohii: realii ta perspektyvy. Rezhym dostupu URL: <https://www.uatom.org/2020/07/24/novi-reaktorni-tehnologiyi-realiyi-ta-perspektivi.html>
11. Yak v elektroenerhetytsi Ukrainy naresti pereity vid vyzhyvanna do rozvytku . Rezhym dostupu URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/2461714-ak-v-elektroenergetici-ukraini-naresti-perejti-vid-vizivanna-do-rozvitku.html>. 11. Access mode URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/2461714-ak-v-elektroenergetici-ukraini-naresti-perejti-vid-vizivanna-do-rozvitku.html>