

УДК 330

DOI: 10.36919/2312-7872.3.2024.76

М. В. Опольський,

Аспірант III курсу 051 Економіка

ПВНЗ Європейський університет м. Київ

E-mail: Opolski.m.v@gmail.com

ORCID: 0009-0007-9243-9297

ЕКОНОМІЧНІ ПИТАННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ МАЛИХ МОДУЛЬНИХ РЕАКТОРІВ В УКРАЇНІ ЯК КОНКУРЕНТНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ЩОДО СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

Енергетика була є і буде основою економіки та промисловості будь-якої країни. Тому від її стабільності залежить і розвиток країни. В останній час енергетика України зазнала нищівних ударів і це призвело до віялових відключень. В даній статті акцентується увага на таких недоліках сонячної енергетики, як добова і сезонна нерівномірність генерації електричної енергії. Пояснюється, що сезонні обмеження генерації не дозволяють її використовувати як стабільне та основне джерело енергії.

Аналізується сучасний стан та технологічні новинки атомної енергетики, зокрема такі перспективні проекти, як малі модульні реактори. Аналізуються характеристики реакторів AP1000, AP300, NuScale. Проаналізовано економічну доцільність проектів малих модульних реакторів. Також аналізується можливі способи підвищити економічну ефективність.

Ключові слова: MMP, реактор, AP1000, AP300, NuScale.

Вступ (постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими або практичними завданнями). Однією з основ будь-якої економіки тієї чи іншої країни є енергетика. Саме так без достатнього забезпечення енергією підприємств в країні не можливий подальший розвиток як і промислового комплексу, так і нормальне існування цивільного сектору економіки.

Дане забезпечення енергією має відбуватися безперервно як і протягом доби, так і протягом року, а з врахуванням подій останніх років коли після нападу росії на Україну відбулось і зокрема ціле направлене знищення енергосистеми України, ці атаки на енергосистему призвели до появи в історії України таких негативних явищ, як блекаути, які стали особливо болючими в зимовий період коли цивільний сектор країни входить в опалювальний сезон. Відповідно коли ми будемо замінювати пошкоджені електростанції на нові, вибір електростанції має враховувати можливість безперебійної генерації в тому числі як і в нічний, так і зимовий час.

Якщо ми розглядаємо як варіант популярне на зараз час розв'язання питання шляхом встановлення сонячних станцій, то ми зіткнемось з двома проблемами — це генерація електроенергії сонячною станцією вночі та взимку. Надалі в статті постараємось розібрати ці два питання і чи вони вирішуються, а також на основі цього огляду проаналізуємо чи закриття цих проблемних питань можливо за допомогою ядерної енергетики, які є аспекти та можливість вирішення саме завдяки малих модульних ядерних реакторів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Перше проблема при дослідженні малих модульних реакторів в Україні як конкурентної технології щодо сонячної енергетики це нерівномірність генерації сонячної електроенергії протягом дня. Дана нерівномірність зумовлена як і астрономічними причинами, так і погодними, що докладно розглянуті вже як і в працях Кузнецова М.П., Мельника О.А. [1], так і на практиці компаніями, зокрема та Укринотех (Українські інноваційні технології) [2]. Проте дана проблема вже давно технічно вирішена і досягається модернізацією сонячної станції шляхом встановлення акумуляторів і перетворення на автономну сонячну станцію, що досить чудово вже описано в праці Колонтаєвським Ю. П. [3]. Для даних варіантів монтажу і різних сценаріїв продажу електроенергії за зеленим тарифом прорахована економічна ефективність сонячних станцій Шуром І. З, Галайко Т. В, Дзьобою Т. Я. [4].

Проте є ще інше питання, яке так просто не вирішується, а це проблеми генерації сонячної електроенергії взимку. Так, якщо до прикладу ми візьмемо графік генерації електроенергії з реальної електростанції за кожен місяць року Рис. 1 [5], ми отримаємо значний спад генерації електричної енергії в грудні, на противагу максимальному піку ефективності в червні.

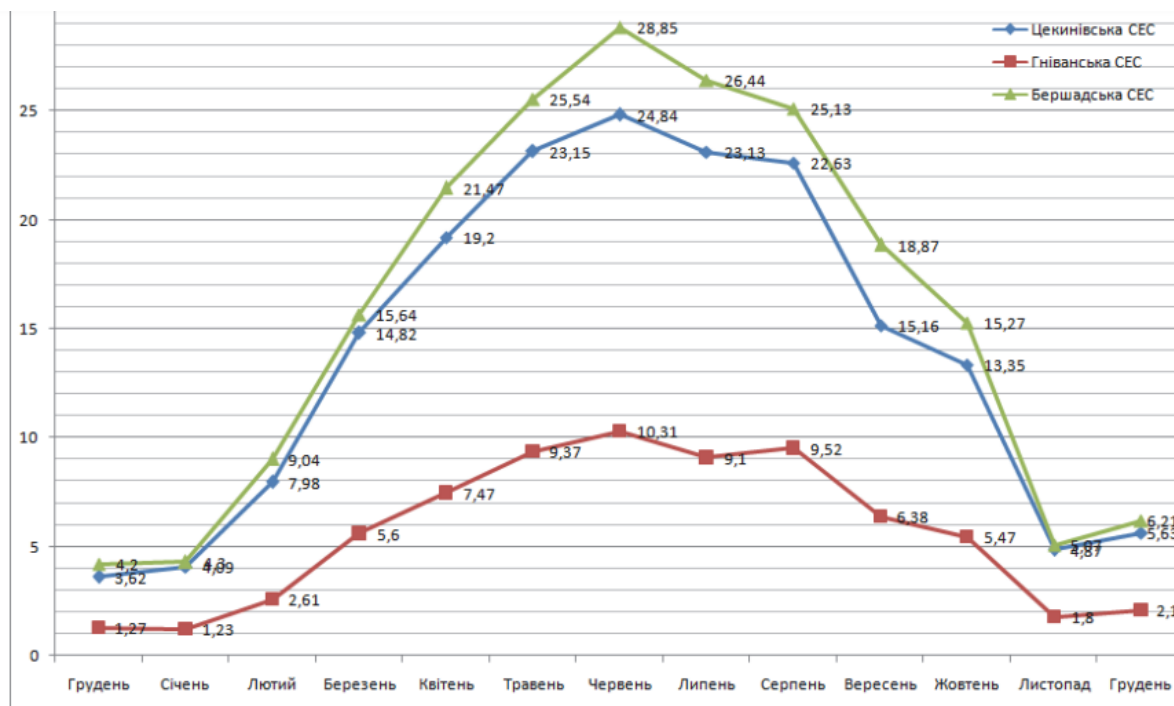


Рис. 1. Генерація електроенергії за кожен місяць з 1 м² в кВт год для трьох СЕС з грудня 2014 до грудня 2015 [5]

Якщо ми будемо рахувати різницю генерації, то вона складає близько 5–6 разів (залежно від погодних умов), і в близьких до ідеальних природних умовах ми можемо говорити в різницю в генерації до 7 разів. Що приведе до того що залежно від природних умов ми отримаємо, що наша генерація електроенергії в грудні, на початку опалювального сезону може падати від 5 до 7 разів, а це вже призведе до технічних блекаутів, що з самого початку ми хотіли виправити. Тому як висновок ми приходимо до результату, що сонячні станції не є повним розв'язанням проблеми забезпечення електроенергією протягом всього календарного року. Тому, як варіант ми маємо розглянути варіанти або теплових станцій на тому чи іншому виді палива, що одразу призводить до залежності від регулярного постачання і ціни на даний вид пального, або до атомних станцій, що можуть завантажуватись паливом раз на 5 років.

Мета статті (постановка завдання). На основі вище сказаного метою даної статті є проаналізувати ситуацію з атомною енергетикою в Україні, а також перспективні проекти як і модульних реакторів, так і малих модульних реакторів, а на основі цього аналізу зробити висновки щодо економічної доцільності впровадження даної технології та варіанти збільшення економічної доцільності цих технологій.

Викладення основного матеріалу. Отже, на даному етапі ми зрозуміли актуальність постійного забезпечення енергією і зосередимось на аналізі економічних питань атомної галузі. В даній статті ми опустимо через об'ємність теми питання енергетичних воєн та питання безпеки об'єктів атомної енергетики та до того ж в науковій літературі ці питання вже чудово розкриті [6]. Натомість зосередимось на питаннях стану атомної енергетики в Україні [7–8]. Так на даний час в енергетиці України за останній час склалась досить оригінальна ситуація, коли за останні 5 років доля атомної енергетики склала понад 50%. Рис 2 [9]. І тому не дивно, що саме через це атомна енергетика стає основою і базою енергетики України. Через це ми маємо ситуацію, коли проблеми в атомній енергетиці вже є проблемами всього енергетичного комплексу. Основною ж проблемою до цього є застарілий парк ядерних реакторів України коли середній вік ядерного реактора був близько 40 років, що відповідало проектний термін експлуатації. Але цю проблему у світі вже навчилися вирішувати шляхом модернізації та продовження терміну експлуатації ще до 20 років [10, 11].

При цьому розглядаючи собівартість атомної енергетики, коли ми говоримо вже про збудовані реактори то вона виглядає досить конкурентною. За даними довідкових матеріалів станом на доповідний 2019 р. взятих з «Енергетичної стратегії України до 2035 року» собівартість 1 кВт-год

електроенергії виробленої на атомних електростанціях складає — 43 коп./кВт-год, на теплових 43 коп./кВт-год, на ТЕЦ 114 коп./кВт-год, на гідроелектростанціях — 69 коп./кВт-год. Тому не дивно, що саме завдяки атомним електростанціям середня вартість виробленої енергетики становить — 72 коп./кВт-год. [12].

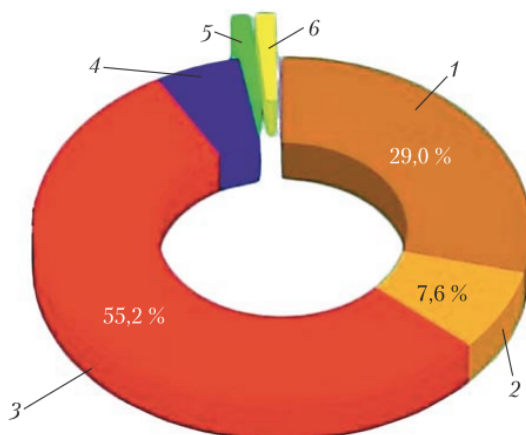


Рис. 2. Структура потужностей енергосистеми України:

1 — теплові; 2 — комбіновані; 3 — атомні; 4 — гідро-; 5 — вітрові; 6 — сонячні електростанції

Проте які справи з ядерною енергетикою, коли ми збираємось будувати нові атомні реактори? На сьогодні найбільш поширеною архітектурою побудови атомного реактора є PWR або BWR (водо-водяний реактор), де сповільнювачем є вода, теплоносієм також є вода. Найперспективнішим з сучасних реакторів для України є AP1000, що виробляється американською компанією Westinghouse. Даний реактор є реактором класу III+, має потужність 1100 МВт електричної енергії. Попри свої розміри він є модульним і складається з 50 великих і 250 малих модулів [13]. Однією з цікавих особливостей даного реактора є можливість змінювати свою потужність протягом дня в діапазоні від 50% до 100% номінальної потужності, що значно розширює можливості ядерної енергетики для маневрування на ринку попиту електроенергії [13]. Дані реактори були одними з перспективних, і Україна раніше за рахунок них хотіла добудувати 3 і 4 енергоблок Хмельницької атомної станції, але верховна рада за це не проголосувала [14]. Даний приклад ми беремо для розуміння ціни встановленої потужності. Так згідно з попередніми даними ми маємо ціну за енергоблок в 1100 МВт на рівні 5 млрд доларів США [15], що в перерахунку дає близько 4,5400 тис. доларів за кВт. Цю цифру можна оптимізувати використовуючи не американські, а українські турбіни, які вже стоять на атомних станціях України. [16]

Розглянемо поточний стан за всіма типами малих модульних реакторів у світі. Попри велику різноманітність рис. 2 [9] ми з поміж всієї множини цих реакторів можемо виділити лише 4 найбільш близьких до реалізації. [17] Цими проектами будуть NuScale, GE Hitachi, Rolls-Royce, Holtec з SMR-300, та Westinghouse з MMP AP-300. [17] Звичайно хотілось почати з одного з найкращого проекту, а саме з AP-300 від компанії Westinghouse. Даний реактор є зменшеною копією реактора AP-1000, і має крім чудово оптимізованої модульної конструкції, а також ще такі цікаві додаткові функції, як можливість використовуватись для генерації водню, опріснення води та генерації промислового тепла. [18] Та попри ці всі переваги та передові технологічні рішення дана технологія станом на 2024 рік перебуває ще досі на стадії ліцензування, а тому до промислового впровадження ще досить далеко. [19]. При цьому що стосується іншого проекту, а саме Rolls-Royce, ситуація тут також на стадії сертифікації, проте на відміну від реактора AP-300 він уже не буде «молодшим братом реактора AP-1000» і тому про споріднені та частково взаємозамінні технології не можна буде говорити.

При цьому розглядаючи собівартість атомної енергетики, коли ми говоримо вже про збудовані реактори то вона виглядає досить конкурентною. За даними довідкових матеріалів станом на доповідний 2019 р. взятих з «Енергетичної стратегії України до 2035 року» собівартість 1 кВт-год електроенергії виробленої на атомних електростанціях складає — 43 коп./кВт-год, на теплових 43 коп./кВт-год, на ТЕЦ 114 коп./кВт-год, на гідроелектростанціях — 69 коп./кВт-год. Тому не дивно, що саме завдяки атомним електростанціям середня вартість виробленої енергетики становить — 72 коп./кВт-год. [12].

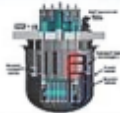
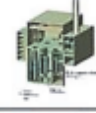
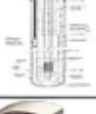
MBт ↑ > 301						• IMR • UKSMR • IRIS • VBER-300 • Westinghouse LFR
251-300						• DMS • SC-HTGR • BREST-OD-300 • GT-MHR • Stable Salt Reactor
201-250						• Westinghouse SMR • MHR-T • ThorCon • LFTR • Em²
151-200						• mPower • FUJI • IMSR • CAP200 • PBMR-400 • France SMR
101-150						• HTR-PM • CMSR • SVBR100 • SUPERSTAR
51-100						• ACP100 • nuScale • SMART • ACPRS0S • MHR100 • MKI-PBFHR
0-50						• CAREM25 • LFR-TL-X • CA Waste Burner • A-HTR-100 • SEALER • eVinci

Рис. 3. Проекти малих модульних реакторів залежно від потужності [9]

Що стосується проекту ядерного реактора який вже пройшов сертифікацію і зацікавив Українську сторону — це реактор від компанії NuScale. [20] Даний реактор є модульний, при цьому є два варіанти модулів по 50 МВт і 77 МВт які можуть формуватися в блоки до 12 штук. Проте ліцензування на даний час пройшов лише блок на 50 МВт. Але за час сертифікації виникли проблеми з окупністю, адже коли починали розробляти дані реактори розраховували на зовсім інші ціни за електроенергію. Причини цього дорожчання криються в рості ціна на обладнання та сировину для ядерних реакторів, так до прикладу UAMPS наводить такі індекси росту цін: сталевая плита на 54%, труби з вуглецевої сталі 104%, конструкційна сталь 70%, а також не забувайте про ріст процентної ставки, яка використовується для оцінки вартості проекту на 200 базисних пунктів в порівнянні з цінами 2020 року. [21] Проте не слід забувати, що дане дорожчання впливає не лише на ядерну, а й на всю енергетику. Також не слід забувати що в цих звітах розглядають як основну роль реактора — продаж електроенергії, проте атомна електростанція може бути і є джерелом тепла. Тож іноді дані малі ядерні реактори можуть бути дуже корисними зокрема при добуванні зокрема і нафти з нафтових пісків у Канаді, адже там дуже потрібна велика кількість пари та тому в цих проєктах стає доцільним використовувати реактор для генерації водяної пари [22].

Стосовно України оптимальним буде продаж теплової електроенергії окрім електричної. Так до прикладу візьмемо реактори NuScale в модифікації на 77 МВт електричної він видає 462 МВт теплової, тобто на 1 кВт електричної припадає 6 кіловатів теплової. [20] Це є цікавим способом збільшити економічну ефективність і зменшити час окупності станції, але спочатку для розуміння розглянемо базовий варіант продажу лише електроенергії. З сайту [22] ми беремо поточну орієнтовну ціну в \$89 за МВт-год що в переводі на 1 кВт-год = 0,089\$ з врахуванням курсу долара (для заокруглення) \$=42 грн. Ми отримуємо 1 кВт-год = 0,089\$*42=3,74 грн, що з врахуванням ціни на електроенергію в Україні на рівні 4,32 грн за кВт-год є адекватною ціною і навіть нижчою приблизно на 13 %, і що вже можна говорити про економічну доцільність даних електростанцій. Проте цю доцільність, як ми говорили раніше можна підвищити продаючи ще тепло. Так щоб нагріти 1 куб води припустимо для заокруглення нам необхідно 50 кВт-год. Ціну на 1 куб гарячої води візьмемо на рівні 124,50 грн [23]. З врахуванням продажу додаткової

кількості тепла ми отримаємо додатковий прибуток на рівні до 34%. Проте це буде розкриватись за умови постійного продажу тепла протягом року, а це можливо лише тоді коли клієнтом буде не цивільний сектор економіки, а й промисловість.

Висновок. В даній статті ми проаналізували ситуацію з енергетикою в Україні, дійшли до висновку, що через специфіку генерації сонячної енергетики ми отримаємо в рази менше енергії взимку, ніж влітку, тому ми маємо шукати ще інше джерело енергії для уникнення блекаутів. Якщо ж ми переключимось на ядерну енергетику, то з врахуванням вже побудованих енергоблоків, ціна є значно нижчою за ринкову. Будуючи нові атомні реактори і враховуючи поточні ціни на електроенергію окупними вже будуть вже і малі модульні ядерні реактори, які хоч і дорожчі в переводі на кВт-год за класичні ядерні реактори, але значно швидше будуються, а особливо враховуючи тенденцію на ріст ціни на електроенергію (а ціна в Україні на електроенергію буде рости), і вони також будуть актуальними, як і їх економічна доцільність.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Комплексне використання відновлюваних джерел енергії: Курс лекцій [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: М.П. Кузнецов, О.А. Мельник — Електронні текстові дані (1 файл: 7,93 Мбайт). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 304 с.
2. <https://ukrinnoteh.com.ua/ua/a181223-skolko-enerгии-generiruyut.html>
3. Колонтаєвський Ю. П. Фотоенергетика : навч. посібник / Ю. П. Колонтаєвський, Д. В. Тугай, С. В. Котелевець ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. — Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. 160 с.
4. Щур І. З. Економічна ефективність сонячної електростанції в індивідуальному домогосподарстві за різних сценаріїв динаміки «зеленого» тарифу / І. З. Щур, Т. В. Галайко, Т. Я. Дзьоба // Electrical power and electromechanical systems. 2021. Vol. 3, № 1. С. 87–102. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/elpoels_2021_3_1_12
5. Стаднік М. І. Аналіз ефективності генерації електроенергії на основі сонячної енергії в вінницькій області / М. І. Стаднік, О. О. Рубаненко, С. В. Бондаренко // Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2016. № 2. С. 104–114. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/tetapk_2016_2_21
6. Когут Ю. І. Енергетичні війни та політики безпеки об'єктів ядерної енергетики : Практичний посібник / Ю. І. Когут. Київ : Консалтингова компанія «СІДКОН»; ВД «ДАКОР» 2023. 352 с.
7. Аналітична доповідь Центру Разумкова. Ядерна енергетика України: стан, проблеми та перспективи розвитку. національна безпека і оборона • № 3, 2008 С. 3–10
8. К.Маркевич, В.Омельченко «Ядерна енергетика у світі та Україні: поточний стан та перспективи розвитку. ЦЕНТР РАЗУМКОВА. Київ 2015
9. Забулонов, Ю. Л. (2023). Перспективи впровадження малих модульних реакторів в Україні: За матеріалами доповіді на засіданні Президії НАН України 22 березня 2023 року. Вісник Національної академії наук України, (6), 34–46. <https://doi.org/10.15407/visn2023.06.034>
10. Комплексна програма робіт щодо продовження терміну експлуатації діючих енергоблоків атомних електростанцій (затверджена Розпорядженням КМУ від 29 квітня 2004 року № 263-р) <https://snriu.gov.ua/storage/app/uploads/public/5ed/0e1/316/5ed0e13164e54465932176.pdf>
11. Shugailo O.-i., Shugaylo, O.-r, Ryzhov, D., Kritsky, V., Romanov, S., & Kolupaev, A. (2013). Рекомендації щодо удосконалення національної нормативної бази в частині продовження строку експлуатації та управління старінням енергоблоків АЕС України. Ядерна та радіаційна безпека, (3(59), 3–9. [https://doi.org/10.32918/nrs.2013.3\(59\).01](https://doi.org/10.32918/nrs.2013.3(59).01)
12. Копішинська К. О. Широкова І. С. Сучасний стан та перспективи інноваційного розвитку атомної енергетики України. Економічний вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Листопад. 2019. https://www.researchgate.net/publication/337299807_SUCASNIJ_STAN_TA_PERSPEKTIVI_INNOVACIYNOGO_ROZVITKU_ATOMNOI_ENERGETIKI_UKRAINI
13. Vashchenko, V., Korduba, I., & Zhukova, O. (2021). Технологічні та експлуатаційні особливості реакторів AP-1000 Покоління III+ та малих модульних реакторів MP-160. Екологічна безпека та природокористування, 40(4), 149–156. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2021.4.149-156>
14. Рада зняла з розгляду законопроект про будівництво ХАЕС-3,4. <https://interfax.com.ua/news/general/1034518.html>

15. З американськими реакторами. Якою буде найбільша українська АЕС? <https://pravda.com.ua/columns/2024/01/11/708639/>
16. Турбіни для вітчизняних АЕС вперше за часів незалежності виготовляють в Україні. <https://uaea.com.ua/news/pek-news/>
17. Перегони технологій: які перспективи малих модульних реакторів у 2024 році. Сайт з питань ядерної безпеки, радіаційного захисту та нерозповсюдження ядерної зброї. <https://www.uation.org/2024/02/22/peregoni-tehnologij-yaki-perspektivi-malih-modulnih-reaktoriv-u-2024-rotsi.html>
18. AP300™ SMR. Only SMR based on Licensed, Operating & Advanced Reactor Technology. <https://westinghousenuclear.com/energy-systems/ap300-smr/>
19. <https://www.uation.org/2024/02/19/westinghouse-rozpochinaye-litsenzuvannya-ar-300-u-veliko-britaniyi.html>
20. <https://www.nuscalepower.com/en>
21. Eye-popping new cost estimates released for NuScale small modular reactor. INSTITUTE FOR ENERGY ECONOMICS AND FINANCIAL ANALYSIS. <https://ieefa.org/resources/eye-popping-new-cost-estimates-released-nuscale-small-modular-reactor>
22. M.V. Ramana. Regulation vs promotion: Small modular nuclear reactors in Canada. Energy Policy Volume 192, September 2024. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421524002489#abs0010>
23. Тарифи на гарячу воду в Києві 2024. Мінфін. <https://index.minfin.com.ua/ua/tariff/kyiv/hotwater/>

REFERENCES

1. Integrated use of renewable energy sources: Lecture course [Electronic resource]: a textbook for students of specialty 141 «Electrical power engineering, electrical engineering and electromechanics» / Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute; compilers: M.P. Kuznetsov, O.A. Melnyk — Electronic text data (1 file: 7.93 MB). Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2022. 304 p.
2. <https://ukrinnoteh.com.ua/ua/a181223-skolko-energii-generiruyut.html>
3. Kolontaevsky Yu. P. Photoenergetics: a textbook / Yu. P. Kolontaevsky, D. V. Tugay, S. V. Kotelevets; Kharkiv. National University of Urban Economics named after O. M. Beketov. — Kharkiv: KhNUMG named after O. M. Beketov, 2019. 16 p.
4. Shchur I. Z. Economic efficiency of a solar power plant in an individual household under different scenarios of the dynamics of the «green» tariff / I. Z. Shchur, T. V. Galayko, T. Ya. Dzyoba // Electrical power and electromechanical systems. 2021. Vol. 3, No. 1. P. 87–102. Access mode: http://nbuv.gov.ua/UJRN/elpoels_2021_3_1_12
5. Stadnik M. I. Analysis of the efficiency of electricity generation based on solar energy in Vinnytsia region / M. I. Stadnik, O. O. Rubanenko, S. V. Bondarenko // Technology, energy, transport of the agricultural industry. 2016. No. 2. P. 104–114. Access mode: http://nbuv.gov.ua/UJRN/tetapk_2016_2_21
6. Kohut Y. I. Energy wars and security policies Nuclear Power Facilities: A Practical Guide / Yu. I. Kohut. Kyiv: Consulting Company «SIDKON»; Publishing House «DAKOR» 2023. 352 p.
7. Analytical Report of the Razumkov Center. NUCLEAR POWER IN UKRAINE: STATE, PROBLEMS AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT. NATIONAL SECURITY AND DEFENSE • No. 3, 2008 P. 3–10
8. Markevych, V. Omelchenko. «Nuclear Power in the World and Ukraine: Current State and Development Prospects. RAZUMKOV CENTER. Kyiv 2015
9. Zabulonov, Yu. L. (2023). Prospects for the Implementation of Small Modular Reactors in Ukraine: Based on the Materials of the Report at the Meeting of the Presidium of the NAS of Ukraine on March 22, 2023. Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine, (6), 34–46. <https://doi.org/10.15407/visn2023.06.034>
10. Comprehensive Program of Work on Extension of the Service Life of Activating Power Units of Nuclear Power Plants (approved by the Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated April 29, 2004 No. 263-p) <https://snrii.gov.ua/storage/app/uploads/public/5ed/0e1/316/5ed0e13164e54465932176.pdf>
11. Shugailo O.-i., Shugaylo, O.-r., Ryzhov, D., Kritsky, V., Romanov, S., & Kolupaev, A. (2013). Recommendations for improving the national regulatory framework regarding the extension of the

operational life and aging management of Ukrainian NPP power units. Nuclear and Radiation Safety, (3(59), 3–9. [https://doi.org/10.32918/nrs.2013.3\(59\).01](https://doi.org/10.32918/nrs.2013.3(59).01)

12. Kopishinska K. O. Shyrokovska I. S. Current State and Prospects of Innovative Development of Nuclear Power in Ukraine. Economic Bulletin of the National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute». November. 2019. https://www.researchgate.net/publication/337299807_SUCASNIJ_STAN_TA_PERSPEKTIVI_INNOVACIYNOGO_ROZVITKU_ATOMNOI_ENERGETIKI_UKRAINI

13. Vashchenko, V., Korduba, I., & Zhukova, O. (2021). Technological and operational features of reactors AR-1000 Generation III+ and small modular reactors MR-160. Ecological Safety and Nature Management, 40(4), 149–156. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2021.4.149-156>

14. The Rada withdrew from consideration of the bill on the construction of KhNPP-3,4. <https://interfax.com.ua/news/general/1034518.html>

15. With American reactors. What will be the largest Ukrainian nuclear power plant? <https://epravda.com.ua/columns/2024/01/11/708639/>

16. Turbines for domestic nuclear power plants are being manufactured in Ukraine for the first time since independence. <https://uaea.com.ua/news/pek-news/>

17. Technology Race: What prospects are for small modular reactors 2024? A website on nuclear safety, radiation protection, and non-proliferation. <https://www.uation.org/2024/02/22/peregoni-tehnologij-yaki-perspektivi-malih-modulnih-reaktoriv-u-2024-rotsi.html>

18. AP300™ SMR. Only SMR based on Licensed, Operating & Advanced Reactor Technology. <https://westinghousenuclear.com/energy-systems/ap300-smr/>

19. <https://www.uation.org/2024/02/19/westinghouse-rozpochinaye-litsenzuvannya-ar-300-u-velikobritaniyi.html>

20. <https://www.nuscalepower.com/en>

21. Eye-popping new cost estimates released for NuScale small modular reactor. Institute for Energy Economics and Financial Analysis. <https://ieefa.org/resources/eye-popping-new-cost-estimates-released-nuscale-small-modular-reactor>

22. M.V. Ramana. Regulation vs promotion: Small modular nuclear reactors in Canada. Energy Policy Volume 192, September 2024. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421524002489#abs0010>

23. Hot water tariffs in Kyiv 2024. Ministry of Finance. <https://index.minfin.com.ua/ua/tariff/kyiv/hotwater/>

Opolsky M. V. ECONOMIC ISSUES OF INTRODUCING SMALL MODULAR REACTORS IN UKRAINE AS A COMPETITIVE TECHNOLOGY FOR SOLAR ENERGY

Energy has always been and remains the foundation of any country's economy and industry. The stability of energy systems directly impacts national development. Recently, Ukraine's energy sector has suffered devastating attacks, leading to rolling blackouts. This article focuses on the shortcomings of solar energy, particularly its daily and seasonal inconsistencies. It explains how seasonal generation limitations make solar power unsuitable as a stable and primary energy source.

The study examines the current state and technological advancements in nuclear energy, focusing on promising projects such as small modular reactors (SMRs). The features of reactors like AP1000, AP300, and NuScale are analyzed. The economic feasibility of SMR projects is also evaluated, along with potential strategies for enhancing their cost-effectiveness.

Keywords: SMR, reactor, AP1000, AP300, NuScale