

	<p>НТР «Малі ядерні реактори в Україні. Світовий ринок. Технології та перспективи впровадження в Україні»</p>
<p>Дата виконання базової НТР</p>	<p>НТР-2024 – 1.10.2024 р.</p>
<p>Дата актуалізації НТР</p>	<p>НТР-2025 – 31.12.2025 р.</p>
<p>Розробник, контактні дані</p>	<p>Соколенко Л.М., науковий співробітник відділу кон'юнктурно-аналітичних та технологічних досліджень з проблем хімічної та скляної промисловості. Тел./факс: 8(0472) 37-31-13, 8(0472) 37-41-65, м.т.: 0977598816</p>
<p>Мета розробки (детально)</p>	<p>Інноваційно-відроджена технологія малих ядерних/модульних реакторів/ММР (конструкція потужністю до 300 МВт) є конкурентоспроможною альтернативним технологіям великих ядерних реакторів та відновлювальних джерел енергії. Натепер ММР знаходяться на етапі ажіотажного циклу розвитку через нові підходи до задоволення збалансованих потреб в чистій енергогенерації. ММР пропонують експлуатаційну гнучкість в певних сценаріях розгортання (регіональні або промислові кластери) та відповідно до попиту. Впровадження ММР є ключовою можливістю для України зміцнити свою енергетичну безпеку та перейти на безвуглецеву генерацію (перш за все на українських ТЕС/ТЕЦ, енергоємних підприємствах). Мета розробки:</p> <ul style="list-style-type: none"> – аналіз ключових питань щодо технологічних, економічних, регулятивних, соціально-політичних аспектів, які визначають ризики і перспективи ринкової життєздатності проектів ММР та пов'язані з ними рішення провідних постачальників щодо інвестування в їх розвиток та розгортання; – оцінка перспектив розвитку та розгортання проектів у світі; – оцінка можливості спорудження в Україні та економічна доцільність створення повного циклу їх функціонування, адаптованого для комерційної експлуатації (щодо технічних можливостей, безпечності управління відпрацьованим паливом та радіоактивними відходами, готовності забезпечити найвищі стандарти ядерної безпеки при розгортанні в країні).
<p>Кількість розділів, основні розділи (найменування)</p>	<p>Структура розробки включає 6 основних розділів:</p> <ul style="list-style-type: none"> – ММР: міжнародні класифікаційні поняття та регуляторні підходи до їх ліцензування. – Параметричний аналіз основних типів ММР, які є найближчими до розгортання та здатні забезпечити початкову декарбонізацію глобальної промисловості. – Оновлений підхід МАГАТЕ до розвитку сприятливого середовища для полегшеного впровадження та ефективного розгортання ММР. – Поточні новітні концепції технологічних досягнень у проектуванні ММР багатоцільового застосування для

	<p>промислових потреб і з високим рівнем готовності до впровадження та прискореного розгортання.</p> <ul style="list-style-type: none"> – Поточний загальний стан світового ринку ММР: потреби розвитку та глобальні перспективи. – Можливості України щодо створення нового ядерно-промислового кластера на основі світових зрілих технологій будівництва та розгортання ММР.
<p>Деякі ключові витяги з тексту</p>	<p>Найбільш ціннісною категорією сучасних технологічних ініціатив розробників до проектування ММР для промислових потреб є їх багатоцільові застосування, які виходять за межі виробництва електроенергії, охоплюючи когенерацію.</p> <p>На даному етапі розвитку фаховою спільнотою розглядаються чотири основні варіанти реакторних технологій для найбільш промислово застосовних типів ММР покоління Gen III⁺ та Gen IV:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Gen III⁺ – інтегровані легководні/LWR під тиском/PWR забезпечені внутрішньою пасивною безпекою мають найнижчий технологічний ризик та на швидких нейтронах/FNR, які можуть бути компактнішими, простішими, з тривалішим терміном експлуатації до перезарядки; – Gen IV – високотемпературні/HTTR, включно з газоохолоджувальними з графітовим сповільнювачем/HTGR та різні види реакторів на розплавлених солях/MSR, більшість з яких є швидкодіючими. <p>Більшість технологій ММР використовують низькозбагачене уранове паливо з водою, як теплоносієм. Деякі з них – це швидкі реактори, що охолоджуються рідкими металами (натрій або свинець). Деякі високотемпературні газові конструкції та реактори на розплавлених солях використовують вдосконалене паливо з вищим (5-20%) рівнем збагачення (високозбагачений уран, низькозбагачений уран, HALEU) або паливо зі змішаних оксидів/MOX, що означає, що вони можуть переробляти деякі матеріали, які зазвичай вважаються відходами.</p> <p>Проте наразі всі вищезазначені варіанти технологій для ММР є лише концептуальними проектами, потенційно можливими для промислового застосування (перш за все для малих і середніх підприємств) через те, що незважаючи на існування для них значних можливостей вони продовжують перебувати на шляху демонстраційного тестування чи емпіричного розвитку.</p> <p>На поточному етапі розвитку найбільш успішними у просуванні до комерційного розгортання є технологічні концепції ММР для:</p> <ul style="list-style-type: none"> • великих операторів центрів обробки даних/ЦОД, які потребують залучення власних джерел електроживлення з метою автономного отримання значної кількості надійної і чистої енергії за розумною ціною та в розумні терміни; • промислової когенерації, декарбонізації (взаємопов'язані рішення щодо теплопостачання, виробництва водню, опріснення);

	<ul style="list-style-type: none"> автономних галузевих програм (дистанційні гірничодобувні операції, військові бази та об'єкти); програм зеленого переходу (переважно, як спосіб заміни вугілля з низьким рівнем викидів, зберігаючи при цьому стабільність енергосистеми). 																																												
Хронологічні рамки	Визначено 2015–2025 роками, з акцентом на період інтенсивної публікаційної активності дослідників (2020-2025 роки) у галузі термоядерного синтезу для ММР, що свідчить про те, що ці технології вийшли на плато продуктивності та знаходяться на стадії стабільного очікування комерціалізованої, масштабованої моделі розгортання.																																												
Кількість таблиць, малюнків	НТР-2024 р.: 15 таблиць, 30 малюнків. Актуалізована НТР-2025 р.: 21 таблиця, 4 малюнки.																																												
Кількість сторінок	НТР-2024 р. – 93 с. Актуалізована НТР-2025 р. – 72 с.																																												
Зміст НТР-2024, НТ-2025, відповідно	<p style="text-align: center;">Зміст НТР-2024</p> <table> <tr> <td>Вступ</td> <td style="text-align: right;">4</td> </tr> <tr> <td>1. Малі модульні реактори: міжнародні класифікаційні поняття та регуляторні підходи до їх ліцензування</td> <td style="text-align: right;">5</td> </tr> <tr> <td>1.1. Класифікаційний підхід до моделювання техніко-економічних систем малих модульних реакторів</td> <td style="text-align: right;">5</td> </tr> <tr> <td>1.2. Світове інституційне середовище управління процесом розроблення та комерціалізації проектів ММР</td> <td style="text-align: right;">7</td> </tr> <tr> <td>1.2.1. Ядерне ліцензування для малих ядерних реакторів</td> <td style="text-align: right;">11</td> </tr> <tr> <td> 1.2.1.1. Досвід ядерного ліцензування ММР Польщі</td> <td style="text-align: right;">17</td> </tr> <tr> <td> 2.1.2.2. Позиція України щодо питань ядерного ліцензування ММР у разі можливості настання ліцензійних умов провадження</td> <td style="text-align: right;">19</td> </tr> <tr> <td>2. Технологічні аспекти розгортання та експлуатації ММР: огляд та оцінка можливостей комерційної життєздатності існуючих технологій</td> <td style="text-align: right;">21</td> </tr> <tr> <td>2.1. Технологічна еволюція ММР</td> <td style="text-align: right;">22</td> </tr> <tr> <td>2.2. Технології ядерного палива для ММР</td> <td style="text-align: right;">31</td> </tr> <tr> <td>3. Параметричний аналіз основних типів ММР, які є найближчими до розгортання та здатні забезпечити початкову декарбонізацію глобальної промисловості</td> <td style="text-align: right;">38</td> </tr> <tr> <td>3.1. Параметричний аналіз конструкцій комерційно експлуатуючих ММР</td> <td style="text-align: right;">43</td> </tr> <tr> <td>3.2. Параметричний аналіз конструкцій реакторів, концепції яких стоять на передньому плані до комерційного розгортання</td> <td style="text-align: right;">51</td> </tr> <tr> <td> 3.2.1. Аргентина</td> <td style="text-align: right;">51</td> </tr> <tr> <td> 3.2.2. Канада</td> <td style="text-align: right;">53</td> </tr> <tr> <td> 3.2.3. США</td> <td style="text-align: right;">57</td> </tr> <tr> <td> 3.2.4. Велика Британія</td> <td style="text-align: right;">60</td> </tr> <tr> <td> 3.2.5. Франція</td> <td style="text-align: right;">64</td> </tr> <tr> <td> 3.2.6. Республіка Південна Корея</td> <td style="text-align: right;">66</td> </tr> <tr> <td> 3.2.7. Китай</td> <td style="text-align: right;">69</td> </tr> <tr> <td> 3.2.8. РФ</td> <td style="text-align: right;">72</td> </tr> <tr> <td>4. Кон'юнктурна ситуація, що складається на етапі концептуалізації формування ринку ММР</td> <td style="text-align: right;">79</td> </tr> </table>	Вступ	4	1. Малі модульні реактори: міжнародні класифікаційні поняття та регуляторні підходи до їх ліцензування	5	1.1. Класифікаційний підхід до моделювання техніко-економічних систем малих модульних реакторів	5	1.2. Світове інституційне середовище управління процесом розроблення та комерціалізації проектів ММР	7	1.2.1. Ядерне ліцензування для малих ядерних реакторів	11	1.2.1.1. Досвід ядерного ліцензування ММР Польщі	17	2.1.2.2. Позиція України щодо питань ядерного ліцензування ММР у разі можливості настання ліцензійних умов провадження	19	2. Технологічні аспекти розгортання та експлуатації ММР: огляд та оцінка можливостей комерційної життєздатності існуючих технологій	21	2.1. Технологічна еволюція ММР	22	2.2. Технології ядерного палива для ММР	31	3. Параметричний аналіз основних типів ММР, які є найближчими до розгортання та здатні забезпечити початкову декарбонізацію глобальної промисловості	38	3.1. Параметричний аналіз конструкцій комерційно експлуатуючих ММР	43	3.2. Параметричний аналіз конструкцій реакторів, концепції яких стоять на передньому плані до комерційного розгортання	51	3.2.1. Аргентина	51	3.2.2. Канада	53	3.2.3. США	57	3.2.4. Велика Британія	60	3.2.5. Франція	64	3.2.6. Республіка Південна Корея	66	3.2.7. Китай	69	3.2.8. РФ	72	4. Кон'юнктурна ситуація, що складається на етапі концептуалізації формування ринку ММР	79
Вступ	4																																												
1. Малі модульні реактори: міжнародні класифікаційні поняття та регуляторні підходи до їх ліцензування	5																																												
1.1. Класифікаційний підхід до моделювання техніко-економічних систем малих модульних реакторів	5																																												
1.2. Світове інституційне середовище управління процесом розроблення та комерціалізації проектів ММР	7																																												
1.2.1. Ядерне ліцензування для малих ядерних реакторів	11																																												
1.2.1.1. Досвід ядерного ліцензування ММР Польщі	17																																												
2.1.2.2. Позиція України щодо питань ядерного ліцензування ММР у разі можливості настання ліцензійних умов провадження	19																																												
2. Технологічні аспекти розгортання та експлуатації ММР: огляд та оцінка можливостей комерційної життєздатності існуючих технологій	21																																												
2.1. Технологічна еволюція ММР	22																																												
2.2. Технології ядерного палива для ММР	31																																												
3. Параметричний аналіз основних типів ММР, які є найближчими до розгортання та здатні забезпечити початкову декарбонізацію глобальної промисловості	38																																												
3.1. Параметричний аналіз конструкцій комерційно експлуатуючих ММР	43																																												
3.2. Параметричний аналіз конструкцій реакторів, концепції яких стоять на передньому плані до комерційного розгортання	51																																												
3.2.1. Аргентина	51																																												
3.2.2. Канада	53																																												
3.2.3. США	57																																												
3.2.4. Велика Британія	60																																												
3.2.5. Франція	64																																												
3.2.6. Республіка Південна Корея	66																																												
3.2.7. Китай	69																																												
3.2.8. РФ	72																																												
4. Кон'юнктурна ситуація, що складається на етапі концептуалізації формування ринку ММР	79																																												

5. Можливості впровадження малих модульних реакторів в Україні та оцінка перспектив їх ефективного функціонування (в частині експлуатації та використання) 88

Зміст НТР-2025

Вступ	5
1. Оновлений підхід МАГАТЕ до розвитку сприятливого середовища для полегшеного впровадження та ефективного розгортання ММР	6
1.1. Оновлені підходи до адаптованого застосування етапів розгортання ММР з часовими рамками	7
1.2. Оновлений підхід до спрощеної інфраструктури необхідної для розгортання ММР	9
1.3. Структуроване порівняння ключових проблем розгортання ММР крізь призму оновленого підходу	12
1.3.1. Досвід експлуатації ММР у країнах з розвиненою ядерною енергетикою	13
1.3.2. Поточний статус ММР що будуються у країнах з розвиненою ядерною енергетикою	13
1.3.3. Поточний стан справ з ММР та ключові виклики, з якими стикаються країни-новачки, які не мають досвіду в ядерній галузі	17
1.3. Висновки до розділу 1	19
2. Поточні новітні концепції технологічних досягнень у проектуванні ММР багатоцільового застосування для промислових потреб та з високим рівнем готовності до впровадження та прискореного розгортання	20
2.1. Аналіз технологічних досягнень у проектуванні ММР багатоцільового застосування для промислових потреб	20
2.1.1. Технології ММР для центрів обробки даних	21
2.1.2. Технології ММР для промислового теплопостачання	22
2.1.3. Технології ММР для опріснення води	25
2.1.4. Технології ММР для виробництва водню	29
2.2. Концептуальні аспекти практичного інжинірингового досвіду розгортання еволюційних конструкцій ММР для промисловості	33
2.2.1. Досвід США	34
2.2.2. Досвід Канади	37
2.2.3. Досвід Великої Британії	38
2.2.4. Досвід Чеської Республіки	39
2.2.5. Досвід Польщі	40
2.2.6. Досвід Франції	41
2.2.7. Досвід Нідерландів	43
2.2.8. Досвід Швеції та Фінляндії	45
2.2.9. Досвід Румунії	46
2.2.10. Досвід Південної Кореї	46
2.2.11. Досвід Китаю	48
2.2.12. Досвід РФ	50
2.3. Висновки до розділу	51

3.1. Висновки до розділу 3	61
4. Можливості України щодо створення нового ядерно-промислового кластера на основі світових зрілих технологій будівництва та розгортання ММП	62
4.1. Аналіз реального стану впровадження малих ядерних реакторів в Україні	62
4.1.1. Передумови, виклики та загрози впровадження та розгортання ММП	65
4.2. Доцільність створення нового ядерно-промислового кластера на основі світових зрілих технологій будівництва та розгортання ММП в умовах України	67
4.3. Висновки до розділу	72