

## РЕЦЕНЗІЯ

рецензента, доктора технічних наук, старшого наукового співробітника БАРБАШЕВА Сергія Вікторовича на дисертацію СЕГЕДИ Володимира Олеговича «Використання ядерних реакторів для виробництва водню», подану до захисту в разову спеціалізовану вчену раду Національного університету «Одеська політехніка» Міністерства освіти і науки України на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 143 – Атомна енергетика, галузь знань 14 – Електрична інженерія

### **1. Актуальність теми роботи.**

Виробництво водню з використанням ядерної енергії є одним з перспективних напрямків впровадження ядерних реакторів в неелектричні технології та є альтернативою викопному органічному паливу. За різними прогнозами водень до 2050 року може забезпечити світові потреби в енергії на рівні 18-24 %.

Ядерні реактори з водним теплоносієм, які у найближчі роки будуть найбільш використовуваною технологією генерації електроенергії, мають температуру теплоносія на виході з активної зони на рівні 350 °С. Тому, використовуючи такі реактори, можливо реалізувати тільки один поточний варіант виробництва водню з їх допомогою - низькотемпературний електроліз води.

Однак через високі питомі витрати електроенергії процес електролізу води для вироблення водню стає конкурентоспроможним лише тоді, коли доступна дешева електроенергія або коли потрібен водень особливо високої чистоти.

Високотемпературні газоохолоджувальні реактори (ВТГР) за рахунок більш високої температури теплоносія на виході з реактора, яка становить 850 - 950 °С, дозволяють забезпечувати тепловою енергією необхідного потенціалу ендотермічні процеси конверсії природного газу та газифікації

вугілля, термохімічні цикли вироблення водню та високотемпературний електроліз.

Така перевага ВТГР перед іншими типами енергетичних ядерних реакторів робить їх найбільш привабливими для технологій виробництва водню. Тому дисертаційна робота Сегеди В.О., яка присвячена визначенню можливостей застосування високотемпературних газоохолоджуваних реакторів у технологіях виробництва водню, є **актуальною**.

## **2. Структура, зміст та коротка характеристика результатів досліджень**

Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, переліку використаних джерел із 67 найменувань, 19 рисунків, 18 таблиць, додатків на 2 сторінках. Загальний обсяг дисертаційної роботи складає 130 сторінок, у тому числі 129 сторінок основного тексту.

У **першому розділі** роботи проаналізовано сучасний світовий стан вироблення водню, наведена класифікація методів отримання водню, розглянуті технології вироблення водню шляхом конверсії природних копалин методом електролізу та термічного розкладу води, а також альтернативні та біотехнологічні технології вироблення водню.

У **другому розділі** роботи надається аналіз використання ядерних енергетичних реакторів у енерготехнологічних установках по виробництву водню, стан розвитку високотемпературних газоохолоджуваних реакторів та переваги застосування цього типу реактора в технологіях вироблення водню. Наведені технологічні схеми атомно-водневих енерготехнологічних установок, які використовують природний газ та вугілля, технологічні схеми із застосуванням термохімічного циклу та високотемпературного електролізу.

У **третьому розділі** роботи розглянуто методичні основи термодинамічного дослідження енергетичної ефективності атомних енерготехнологічних установок. Визначені метод термодинамічного дослідження та термодинамічні критерії, які оцінюють енергетичну

досконалість атомно-водневих установок. Проведено розрахунки енергетичних показників хімічних реакцій в технологіях отримання водню за допомогою високотемпературних реакторів.

У **четвертому розділі** роботи представлені результати досліджень атомно-водневих енерготехнологічних установок. Розроблена методика розрахунку технологічних схем атомно-водневих енерготехнологічних установок. Проведено чисельне дослідження та порівняльний аналіз енергетичної ефективності атомно-водневих установок з високотемпературними реакторами з використанням природного газу, сірко-йодного термохімічного циклу та високотемпературного електролізу.

Доведено, що енергетична ефективність використання високотемпературних газоохолоджуваних реакторів у розглянутих неелектричних технологіях вища, ніж при застосуванні реакторів цього типу тільки для вироблення електроенергії.

Висновки містять основні результати проведених досліджень.

Список використаних джерел містить перелік актуальних наукових досліджень із тематики роботи.

У додатках наведено список публікацій дисертанта за темою дисертації і відомості про апробацію результатів дисертації, а також акт впровадження результатів роботи.

### **3. Ступень обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій.**

Наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані в дисертаційній роботі, ґрунтуються на методі термодинамічного дослідження енерготехнологічних установок, які виробляють продукцію як енергетичного, так і неенергетичного (технологічного) виду, запропонований проф. В. Дубковським. Цей метод дозволяє на єдиній термодинамічній основі визначати ефективність вироблення як енергетичних (електрична та теплова енергія), так і технологічних видів продукції (синтез-газ, водень, мінеральні добрива та інше).

Для розрахунку хіміко-технологічних процесів, складу вхідних та вихідних продуктів хімічних реакцій та теплових ефектів хімічних реакцій використані методи хімічної термодинаміки.

#### **4. Основні наукові результати та їх новизна**

Дисертаційна робота вирішує актуальне та важливе для атомної енергетики науково-практичне завдання, містить раніше незахищені наукові положення та результати, які отримані автором особисто.

Автор отримав такі основні наукові результати:

- розроблено технологічні схеми атомно-водневих установок з ВТГР з конверсією природного газу та газифікацією вугілля, сірко-йодного термохімічного циклу та високотемпературного електролізу, які дозволяють проводити дослідження енергетичної ефективності установок;

- розроблено методику розрахунку технологічних схем атомно-водневих енерготехнологічних установок;

- запропоновано при визначенні показників ексергетичної досконалості установок для розрахунку ексергії, підведеної від ВТГР, використовувати поняття «первинної енергії», тобто ядерної енергії, яка численно дорівнює тепловій енергії ядерного реактора;

- визначено енергетичну ефективність атомно-водневих установок з ВТГР, які працюють з використанням розглянутих технологій;

- вперше проведено порівняльний енергетичний аналіз установок по виробленню водню за допомогою ВТГР з використанням конверсії органічного палива, термохімічного циклу та високотемпературного електролізу.

#### **5. Практичне значення результатів роботи**

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що отримані результати можуть бути застосовані при виборі технологій та технологічних схем та техніко-економічному обґрунтуванні створення атомно-водневих установок з ВТГР.

Крім того, результати дисертації використано у держбюджетній науково-дослідній роботі № 193-42 «Ядерна та радіаційна безпека і ефективність енергоблоків АЕС з урахуванням сучасних проблем та тенденцій в атомній електроенергетиці» (№ д/р 0121U108086).

Результати дисертації впроваджені у навчальний процес кафедри атомних електростанцій Національного університету «Одеська політехніка» для підготовки бакалаврів та магістрів за спеціальністю 143 – Атомна енергетика, що підтверджується відповідним актом впровадження.

### **6.Зв'язок дисертаційної роботи з науковими напрямками Університету та кафедри.**

Основні теоретичні і практичні результати дисертаційної роботи одержані відповідно до цілей Енергетичної стратегії України на період до 2050 року щодо досягнення максимального рівня кліматичної нейтральності та максимального скорочення використання вугілля в енергетичному секторі, схваленої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 18 серпня 2017 року № 605-р., та у рамках Комплексної кафедральної науково-дослідної роботи №193-42 «Ядерна та радіаційна безпека і ефективність енергоблоків АЕС з урахуванням сучасних проблем та тенденцій в атомній електроенергетиці». У кафедральний звіт увійшов підрозділ «Використання високотемпературних газоохолоджуваних реакторів для виробництва водню», виконаний В. Сегедою.

### **7. Повнота викладення результатів дисертації в опублікованих працях**

Публікації охоплюють всі розділи дисертації та досить повно відображають зміст і результати досліджень, наведених в роботі. Аналіз публікацій та особистого внеску в них здобувача показує, що основні наукові положення, висновки і рекомендації, що містяться в дисертації та виносяться на захист, отримано здобувачем особисто в період з 2022 по 2024 рік і узагальнені при оформленні дисертації. Основні наукові результати

дисертаційної роботи викладено у трьох наукових статтях, опублікованих у виданнях, включених до Переліку фахових видань України (всі видання індексуються у міжнародних наукометричних базах даних, зокрема: Index Copernicus International, Ulrich's Periodicals 21 Directory, Electronic Journals Library, Google Scholar та ін.), одна з яких опублікована в журналі, який входить до наукометричної бази SCOPUS, а також у двох опублікованих доповідях на наукових конференціях, одних тезах доповідей наукової конференції та у міжнародній збірці наукових статей.

Участь у наукових та науково-практичних конференціях різного рівня свідчить про ознайомлення наукової спільноти з результатами дисертаційного дослідження. Кількість опублікованих праць відповідає вимогам, що встановлені МОН України щодо дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії.

#### **8. Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності**

В результаті вивчення дисертаційної роботи порушень академічної доброчесності не виявлено. Всі запозичення, які є в роботі, мають посилання на відповідні джерела, інші – є загальноновживаними і не є плагіатом. Публікація здобувачем результатів досліджень у рецензованих виданнях, які передбачають попередню перевірку матеріалів на відсутність запозичень, є одним із важливих підтверджень відсутності порушень академічної доброчесності.

#### **9. Дискусійні положення та зауваження щодо змісту дисертації**

В цілому позитивно оцінюючи подану до захисту дисертацію, слід висловити такі дискусійні положення та зауваження щодо змісту дисертації:

1. Не ставлячи під сумнів перспективність впровадження ВГТР, треба сказати, що їх широке використання як в енергетичних, так і в неенергетичних технологіях, є не близькою перспективою. В даний час кількість ВГТР складає біля 3% загальної кількості реакторів, які знаходяться у комерційній експлуатації. Фахівці вважають, що зростання їх промислового впровадження у світі можна очікувати не раніш 2030 року. А для України це

дуже далека перспектива, якщо взагалі такі реактори будуть у нас будуватися.

Тому, не виключаючи цінність того, що зроблено у роботі, доречно було б, на мій погляд, провести такі ж самі розрахунки, як для ВТГР, також і для реакторів ВВЕР, які зараз експлуатуються і в подальшому будуть будуватися в Україні, й порівняти їх ефективність з точки зору одержання водню. Така робота мала б велике значення для розвитку ядерної енергетики України.

2. У розділі «Методи дослідження» крім теоретичних розрахунків доцільно було б додати експериментальні методи, які б підтверджували розрахунки. Експеримент тільки би підтвердив і підвищив рівень обґрунтованості одержаних у роботі висновків і рекомендацій.

3. У роботі є граматичні та друкарські помилки. Тому треба б було текст дисертації добре перевірити.

Проте, вказані зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи в цілому та не знижують наукової і практичної цінності отриманих результатів.

#### **10. Загальний висновок про відповідність роботи встановленим вимогам**

Кваліфікаційна наукова робота аспіранта Сегеди Володимира Олеговича «Використання ядерних реакторів для виробництва водню», в який вирішується **актуальне** питання виробництва водню для потреб промисловості і соціальної інфраструктури країни, та обговорюються **практичні** можливості застосування високотемпературних газоохолоджувальних реакторів у технологіях виробництва водню, по кількості наукових публікацій, особистому внеску в отримання наукових результатів, відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12

січня 2022 року №44 (із змінами), та вимогам МОН до оформлення дисертацій, які подаються на здобуття наукового ступеня доктора філософії, а її автор, СЕГЕДА Володимир Олегович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 14 – «Електрична інженерія» за спеціальністю 143 – «Атомна енергетика».

Рецензент:

доктор технічних наук,

старший науковий співробітник,

професор кафедри Атомних електричних станцій

Національного університету

«Одеська політехніка»

Сергій БАРБАШЕВ

Не піддаючи сумніву отримані в дисертації результати та зроблені висновки, зроблю низку зауважень, пропозицій та рекомендацій, які виникли у мене при вивченні роботи.

1. Не ставлячи під сумнів перспективність ВТГР, треба сказати, що їх широке використання як в енергетичних, так і в неенергетичних технологіях, є не близькою перспективою. В даний час кількість ВТГР складає біля 3% загальної кількості реакторів, які знаходяться у комерційній експлуатації. Фахівці вважають, що зростання їх промислового впровадження у світі можна очікувати не раніш 2030 року. А для України це дуже далека перспектива, якщо взагалі такі реактори будуть у нас будуватися.

Тому, не виключаючи цінність того, що зроблено у роботі, доречно було б, на мій погляд, провести такі ж самі розрахунки, як для ВТГР, також і для реакторів ВВЕР, які зараз експлуатуються і в подальшому будуть будуватися в Україні, й порівняти їх ефективність з точки зору одержання водню. Така робота мала б велике значення для розвитку ядерної енергетики України.

2. На мій погляд, **назва роботи не відповідає меті і взагалі змісту роботи**. Судячи з назви можна зрозуміти, що у роботі будуть розглянуті питання використання різних типів ядерних реакторів для виробництва водню, проведено їх порівняння і запропоновано найкращий з точки зору забезпечення енергетичної ефективності відповідного технологічного процесу. Насправді розглянуто використання тільки ВТГР. І це треба було б вказати в назві роботи.

3. Розділ «**Наукова новизна**» потребує перероблення відповідно до вимог ВАК та МОН. При формулюванні наукової новизни рекомендується використовувати фрази:

- вперше здійснено...
- вперше формалізовано...
- створено концепцію, що забезпечує...

- розроблена нова система...
- визначено ефективність...
- розроблено метод..., який відрізняється від...
- доведено залежність між...
- досліджено поведінку... і показано...
- доопрацьовано метод... в частині... і поширено на новий клас систем...
- досліджено новий ефект...

Уточнення потребують всі пункти, крім останнього.

**4. Методи дослідження.** Крім теоретичних розрахунків доцільно було б, якщо це можливо, додати експериментальні методи, які б підтверджували розрахунки.

**5. В розділ «Методи дослідження» доречно було б додати інформацію про обґрунтованість та достовірність** отриманих результатів.

**6. Рекомендую** ще раз перевірити правильність оформлення роботи згідно вимогам МОН (Наказ № 40 від 12.01.2017 із змінами) та ДСТУ 3008:2015 до оформлення дисертацій.

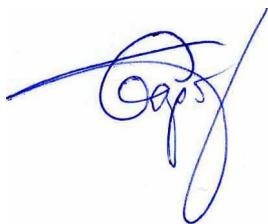
**7. Що сподобалося.** Сподобалося як написаний 1-й та 2-й розділи роботи. Коротко, але дуже змістовно наведено аналіз сучасних технологій виробництва водню, а також питання використання ВТГР в технологіях виробництва водню.

**Висновок рецензента.** Кваліфікаційна наукова робота аспіранта Сегеди Володимира Олеговича «Використання ядерних реакторів для виробництва водню», в якій вирішується **актуальне** питання виробництва водню для потреб промисловості і соціальної інфраструктури країни, та обговорюються **практичні** можливості застосування високотемпературних газоохолоджуваних реакторів у технологіях виробництва водню, по

кількості наукових публікацій, особистому внеску в отримання наукових результатів, в основному відповідає вимогам Постанови КМУ № 44 від 12.01.2022 року (із змінами) та вимогам МОН до оформлення дисертацій, які подаються на здобуття наукового ступеня доктора філософії, та після внесення правок, що враховують зауваження, може бути рекомендована до захисту.

**Рецензент**

Доктор технічних наук, професор кафедри АЕС



С.В.Барбашев