

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Годуна Олега Вікторовича

на тему «Прогнозне моделювання ядерно-паливних циклів на основі аналізу трендів», подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи

Актуальність теми дисертації

Атомні електричні станції (АЕС) є основним виробником електроенергії в Україні, протягом останніх років їх частка у виробництві стабільно перевищує 50%. Енергетичною стратегією України передбачене зростання виробництва електроенергії атомною енергетикою.

Розвитку атомної енергетики сприяє відсутність викидів парникових газів при виробництві, що відповідає положенням Паризької кліматичної угоди 2015 року.

Разом з тим виробництво електроенергії на АЕС пов'язане із накопиченням відпрацьованого ядерного палива (ВЯП). ВЯП є небезпечним високоактивним джерелом іонізуючого випромінювання, але одночасно воно є потенційним джерелом палива для АЕС.

На сьогодні в Україні прийнята політика зберігання ВЯП у спеціальних сухих сховищах. Але питання щодо поводження з ВЯП після завершення проектного терміну його зберігання залишається відкритим.

Наявна світова практика демонструє можливість переробки ВЯП для отримання суміші U-235 та Pu-239 або захоронення ВЯП у геологічних формаціях без подальшого використання.

Вибір напрямку поводження з ВЯП є комплексною задачею, яка включає аналіз умов забезпечення вимог ядерної та радіаційної безпеки, мінімізації впливу на людину та навколишнє середовище, економічної ефективності. Загально визнана світова політика з даного питання відсутня.

Таким чином тема роботи є актуальною, відповідає сучасним викликам розвитку як української, так і світової ядерної енергетики.

Враховуючи тривалий час експлуатації енергоблоків (до 60 років) та зберігання ВЯП (до 100 років), а також наявність багатьох критеріїв оцінки, визначення напрямку поводження з ВЯП вимагає застосування методів прогнозного аналізу з використанням багатокритеріальної оцінки з розглядом значного масиву первинної техніко-економічної інформації.

Особливістю ядерної енергетики є консервативний підхід щодо використання інструментів моделювання розвитку галузі. Проведений

ЧПМЕ вк. 252
09.09.2020р.

автором порівняльний аналіз програмних засобів, які використовуються для моделювання ЯПЦ, дозволив обґрунтувати використання пакету MESSAGE для створення необхідних прогнозних моделей.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій. Достовірність результатів досліджень

Використані в роботі методи дослідження (теорія прийняття рішень, метод технічного аналізу трендів, метод арифметичного ковзного середнього, тощо) застосовані коректно.

Основні наукові положення роботи є достатньо обґрунтованими. Рекомендації наведено чітко, що дає можливість їх застосування при проведенні прогнозного моделювання ядерно-паливного циклу (ЯПЦ).

Достовірність одержаних результатів визначається застосуванням верифікації прогнозних моделей ЯПЦ з використанням ретроспективних даних та аналізу зміни трендів у розвитку ЯПЦ у світі.

Наукова новизна отриманих результатів

1. Вперше визначено обмеження існуючих моделей, методів та засобів математичного моделювання ЯПЦ, а також можливостей їх використання для оцінки частково-замкненого та замкненого ЯПЦ.

2. Удосконалено математичну модель відкритого ЯПЦ шляхом врахування взаємозв'язків між потоками U-235 та Pu-239. Вперше, поряд з моделлю відкритого ЯПЦ, представлено математичні моделі частково-замкненого та замкненого ЯПЦ для цілей прогнозного моделювання.

3. Отримав подальший розвиток метод формування первинної інформації на основі змінних у часі техніко-економічних параметрів з урахуванням трендів розвитку ЯПЦ.

4. Вперше запропоновано метод порівняльної оцінки ЯПЦ за переліком ключових індикаторів (КІ), що дозволяє виконати багатокритеріальну інтегральну порівняльну оцінку ЯПЦ, які включають різні типи базових технологій.

5. Розроблений метод аналізу чутливості моделі ЯПЦ на основі визначеної множині даних з метою обґрунтування техніко-економічних показників ЯПЦ, що дозволяє врахувати змінність у часі техніко-економічних параметрів ЯПЦ та забезпечити адекватність моделі ЯПЦ при прогнозному моделюванні.

Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання

На підставі запропонованих методів розроблено комп'ютерні моделі частково-замкненого та замкненого варіантів конфігурацій ЯПЦ України та

проведено порівняльну оцінку варіантів ЯПЦ з вибором сценарію поведження з відпрацьованим ядерним паливом АЕС України на довгострокову перспективу.

Методи прогнозного моделювання ЯПЦ, розроблені у рамках дисертаційної роботи, можуть бути застосовані для прогнозування розвитку інших типів паливно-енергетичних циклів.

Отримані результати знайшли використання у практичній діяльності, що підтверджено відповідними актами впровадження.

Повнота викладення результатів в опублікованих матеріалах

Основні наукові результати дисертації опубліковано в 16 наукових працях, що відповідають вимогам ДАК України, у тому числі: 9 - у наукових статтях, які індексуються міжнародними наукометричними базами; 5 - збірниках міжнародних форумів МАГАТЕ, 2 - матеріалах наукової конференції.

В опублікованій працях викладено основні отримані здобувачем результати досліджень.

Рівень та кількість публікацій відповідають чинним вимогам, що висуваються до кандидатських дисертаційних робіт.

Структура та зміст дисертації

Дисертаційна робота складається з анотації українською, російською та англійською мовами, списку публікацій здобувача, переліку скорочень, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та чотирьох додатків. Загальний обсяг дисертації складає 185 сторінок, у тому числі 141 сторінка основного тексту, 25 таблиць та 35 рисунків.

У **вступі** представлено загальну характеристику дисертації, включаючи актуальність теми, зв'язок роботи із науковими програмами, планами та темами, мету, завдання та методи дослідження, наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, особистий внесок здобувача, апробацію та опублікування результатів.

У **першому розділі** представлено загальну інформацію щодо методів моделювання та математичних моделей ЯПЦ, проведено критичний аналіз сучасних програмних засобів моделювання ЯПЦ, проаналізовано наявні підходи з критеріальної порівняльної оцінки ЯПЦ, представлено інформацію щодо застосування аналізу чутливості та аналізу трендів для цілей прогнозного моделювання. Показано широке застосування аналітичного, імітаційного та оптимізаційного методів побудови моделей ЯПЦ. Проведено аналіз і порівняння наявних методів моделювання ЯПЦ. Наведено математичний опис, який покладено в основу програмного засобу МАГАТЕ MESSAGE.

У **другому розділі** запропоновано математичну модель потоків ядерного матеріалу у різних ЯПЦ, представлено підхід до формування ключових індикаторів (КІ) порівняльної оцінки ЯПЦ, запропоновано математичний метод багатокритеріальної оцінки ЯПЦ за множиною обраних КІ та підхід з

застосування часових трендів для аналізу первинної інформації, метод аналізу чутливості моделі ЯПЦ по вхідним даним для цілей прогнозної оцінки ЯПЦ.

У **третьому розділі** наведено опис зв'язків складових елементів при побудові комп'ютерних моделей ЯПЦ, запропоновано алгоритм побудови комп'ютерних моделей частково-замкненого та замкненого ЯПЦ, формування яких можливо здійснити в середовищі програмного засобу MESSAGE. Наведено приклади побудови моделей ЯПЦ України.

У **розділі 4** наведено результат апробації інструментарію прогнозного моделювання з використанням аналізу часових трендів до оцінки напрямків розвитку ЯПЦ України у довгостроковій перспективі та порівняння результатів моделювання з поточним світовим досвідом розвитку ЯПЦ. Проведено верифікацію моделі відкритого ЯПЦ.

У **додатках** наведено опис складових елементів ЯПЦ та сформований перелік вхідних даних для комп'ютерного засобу MESSAGE, аналіз чутливості результатів прогнозної оцінки різних ЯПЦ, список публікацій та акти про впровадження результатів дисертаційної роботи.

Автореферат ідентичний за змістом з основними положеннями дисертаційної роботи і в повній мірі відображає основні завдання, суть наукових положень, практичну значимість та висновки.

Дисертаційна робота та автореферат оформлені у відповідності з вимогами до кандидатських дисертацій, хоча в тексті дисертації зустрічаються граматичні та синтаксичні помилки.

Зауваження до роботи

1. При моделюванні розвитку ядерної енергетики (п. 4.5) не враховуються режимні вимоги щодо функціонування ОЕС України, які на сьогодні стали важливим фактором, що обмежує розвиток базових потужностей.

2. Аналізом методів формування первинної інформації на основі змінних у часі техніко-економічних параметрів не охоплено такий ефективний інструмент, як Learning curves, який набув розповсюдження при прогнозуванні розвитку енергетичних технологій.

3. Україна не має власних потужностей з переробки відпрацьованого ядерного палива і створення такого циклу, враховуючи масштаби розвитку ядерної енергетики країни наврядчи є доцільним. Планування переробки ВЯП за кордоном, зокрема у Росії, пов'язане політичними та іншими ризиками, які повинні враховуватись при багатокритеріальному аналізі.

4. Наведені на рисунку 2.1 результати співставлення ЯПЦ, отримані з використанням розробленого методу багатокритеріальної оцінки та з використанням інструментарію MAGATE KIND-ET, потребують більш глибокого пояснення.

5. Зауваження до оформлення дисертації:

- має місце незначна кількість граматичних та синтаксичних помилок;

- в авторефераті формула (1) та формули у таблиці 2 наведені без пояснень, що ускладнює роботу з матеріалом;
- схеми побудови компютерних моделей (рис. 3.2, рис 3.4, рис. 3.6), які містять важливу інформацію щодо функціонування обраних ЯПЦ, виконані занадто дрібними, а частина позначень не містить пояснень.
- у формулах зустрічається наведення індексів основним шрифтом (наприклад, (2.18));
- по тексту зустрічаються русизми;
- частина рисунків має російські скорочення (позначення) (наприклад, рисунки, наведені у розділі 4).

Загальний висновок

Вважаю, що дисертаційна робота Годуна Олега Вікторовича на тему «Прогнозне моделювання ядерно-паливних циклів на основі аналізу трендів» є завершеною науковою працею, в якій отримано нові науково обґрунтовані та практично важливі результати, які вирішують актуальну науково-практичну задачу забезпечення адекватності прогнозного моделювання ЯПЦ, покращують підходи до застосування комп'ютерних розрахункових засобів для аналізу ЯПЦ та удосконалюють методи організації процесу прогнозного моделювання ЯПЦ, зокрема за рахунок розробки відповідних математичних моделей частково-замкненого та замкненого ЯПЦ, а також шляхом застосування аналізу трендів до підготовки первинної інформації.

Основні результати дисертаційної роботи відповідають вимогам наукової спеціальності 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

Дисертаційна робота за своїм змістом відповідає вимогам «Порядку присудження наукових ступенів» та чинним вимогам МОН України, а її автор – Годун Олег Вікторович заслуговує на присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи (технічні науки).

Офіційний опонент:

Доктор технічних наук,
старший науковий співробітник,
заступник генерального директора
ТОВ «Укренергоконсалтінг»



А.В. Борисенко