

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

про дисертаційну роботу Беженара Романа Васильовича
“Інформаційні технології моделювання забруднення водних екосистем для комп’ютерної підтримки рішень з радіаційної безпеки”, представлену на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології.

Актуальність теми дисертації. Інформаційні технології все більше стають визначальними в процесах прийняття рішень при техногенних аваріях. Особливо це стосується ситуацій, пов’язаних із поширенням радіаційного забруднення, коли потрібно за короткий час оцінити величину джерела забруднення, напрямок його розповсюдження та можливий вплив на населення. Для цього розробляються системи комп’ютерної підтримки рішень із радіаційної безпеки, такі як PC-CREAM, NARAC, RODOS, ARGOS, WSPEEDI, MOIRA-PLUS та інші, що складаються з певної кількості інтегрованих між собою математичних моделей. Особливе місце серед цих систем займає система ядерного аварійного реагування RODOS, яка була створена відразу після аварії на Чорнобильській АЕС у рамках проектів Європейського Союзу за участі Інституту проблем математичних машин і систем НАН України і зараз активно використовується в усьому світі.

Після аварії на АЕС Фукусіма-1 виникла потреба включення в систему RODOS моделей для прогнозування стану екосистем із врахуванням довгострокового переносу радіонуклідів у морському середовищі, у тому числі в морських організмах. Але в існуючих математичних моделях процеси засвоєння забруднення морськими організмами розглядаються у дуже спрощеному вигляді або потребують великої кількості параметрів, які є специфічними для кожної речовини та кожного організму і можуть залежати від властивостей оточуючої води. Крім того, такі моделі до недавнього часу не входили в системи комп’ютерної підтримки рішень для оцінок наслідків аварій, в результаті яких у навколишнє середовище потрапляють різні шкідливі речовини.

У зв’язку з цим існує необхідність вирішення актуальної науково-прикладної проблеми, пов’язаної з розвитком систем комп’ютерної підтримки рішень, і перш за все системи RODOS, у напрямку моделювання забруднень різних водних об’єктів, включаючи живі організми, для отримання оцінок доз опромінювання населення від прісноводних і морських шляхів розповсюдження радіонуклідів.

Визначальним з точки зору актуальності є також те, що дане дисертаційне дослідження відповідає пріоритетному напрямку розвитку науки і техніки України «Технології та засоби математичного моделювання, оптимізації та системного аналізу розв’язання надскладних завдань державного значення» та збігається з основними науковими напрямами та найважливішими проблемами фундаментальних досліджень Національної академії наук України на 2019-2023 роки в галузі інформатики, а саме «Розроблення теоретико-методологічних засад створення комп’ютерних інформаційно-аналітичних систем та засобів комп’ютерного моделювання сценаріїв аналітичної діяльності». Робота

виконувалася у рамках трьох бюджетних тем науково-дослідних робіт Національної академії наук України та міжнародних програм наукового співробітництва, зокрема, проекту Європейської комісії (EURANOS), програм MAGATE (EMRAS II, MODARIA, MODARIA II), спільного проекту Японського товариства з підтримки науки та Державного фонду фундаментальних досліджень України, дослідницького проекту MAGATE (CRP K41017).

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій. Теоретичні й практичні добутки, отримані автором під час проведення дослідження, базуються на сучасних досягненнях у галузі математичного моделювання процесів переносу забруднення у водних системах і в морських організмах, чисельних та статистичних методів обробки результатів моделювання та експериментальних даних. Достовірність отриманих результатів забезпечується коректною постановкою задач, коректним використанням математичного апарату. Висунуті положення перевірені шляхом порівняння результатів модельних експериментів з відомими даними лабораторних експериментів і вимірюваннями концентрації радіонуклідів в різних компонентах морського середовища, отриманими з літературних джерел. Зроблені висновки та надані рекомендації знайшли своє втілення в розроблених моделях, методах і програмних засобах.

Наукова новизна та теоретична цінність результатів дисертаційної полягає в наступному:

- вперше за допомогою розроблених процедур автоматичної передачі даних між моделями здійснена інтеграція камерної моделі POSEIDON-R в Європейську систему ядерного аварійного реагування RODOS як складової частини ланцюжка моделей, що дозволяє оцінювати радіаційне забруднення морського середовища в результаті аварій на атомних об'єктах, розташованих не лише на морському узбережжі, але й у глибині континенту;

- вперше для оцінки доз опромінення населення в результаті регулярних витоків радіонуклідів у морське середовище з атомних об'єктів здійснена інтеграція моделі POSEIDON-R у платформу PREDOS;

- вперше розроблений модуль розрахунку доз опромінення, отриманих населенням при споживанні продуктів харчування рослинного і тваринного походження, які були забруднені через прісноводні шляхи переносу радіонуклідів, у системі ядерного аварійного реагування RODOS;

- розроблена нова технологія кінетично-алометричного моделювання засвоєння забруднюючих речовин рибою, в якій враховуються особливості речовин накопичуватися в різних тканинах риби, а також залежності швидкостей засвоєння і виведення забруднення від маси риби;

- здійснена реконструкція радіоактивного забруднення Чорного, Балтійського, Середземного морів, морів північно-західної частини Тихого океану і північно-східної частини Атлантичного океану для періоду з 1945 по 2020 роки за допомогою удосконаленої моделі POSEIDON-R та розраховані відповідні дози опромінення населення від споживання морепродуктів;

- удосконалено камерну модель POSEIDON-R шляхом розробки моделі донного ланцюжка живлення, де вперше враховується перехід

забруднення з донних відкладень у морські організми, та параметризації залежності інтенсивності засвоєння радіоактивних цезію і стронцію морськими організмами від концентрації конкуруючих іонів, що значно розширило її можливості та області застосування;

- набула подальшого розвитку тривимірна модель термогідродинаміки і переносу забруднення THREETOX за рахунок внесення технології моделювання забруднення водних екосистем для більш детального відтворення переносу радіоактивного цезію ^{137}Cs в морських організмах Тихого океану після аварії на АЕС Фукусіма-1 та для прогнозування наслідків майбутніх аварій.

Практичне значення отриманих результатів визначається:

- створенням інструменту для проведення автоматичних розрахунків переносу радіонуклідів у всіх європейських морях в оперативному режимі внаслідок будь-яких радіаційних аварій Європейською системою ядерного аварійного реагування RODOS;

- використанням моделі переносу радіонуклідів через прісноводні ланцюжки живлення FDMA в системі RODOS, що дозволило враховувати відповідні дози опромінення населення навколо атомних електростанцій України;

- включенням камерної моделі POSEIDON-R у платформу PREDO, що дало можливість оцінювати дози опромінення населення в результаті регулярних витоків радіонуклідів з атомних об'єктів Швеції у морське середовище;

- отриманням у результаті реконструкції радіаційного забруднення європейських морів за допомогою моделі POSEIDON-R набору "еталонних" камер, що можуть розглядатися як оптимальні області для проведення вимірювань концентрацій радіонуклідів у Чорному та інших морях.

Теоретичні і практичні результати дисертаційної роботи отримали широке впровадження в Україні та за кордоном:

- в Українському гідрометеорологічному центрі ДСНС України у частині розробки модуля оцінки доз для населення від прісноводних шляхів опромінення;

- в Українському гідрометеорологічному інституті ДСНС України та НАН України у частині розробки інформаційних технологій моделювання переносу забруднень у морському середовищі;

- на Рівненській АЕС у частині розробки модуля оцінки доз для населення від прісноводних шляхів опромінення внаслідок можливих аварійних викидів радіонуклідів у р. Стир;

- в компанії «Facilia AB» (Швеція) при розробці платформи PREDO для оцінки доз опромінення населення в результаті регулярних витоків радіонуклідів з атомних об'єктів Швеції;

- в Корейському інституті науки та технології океану (KIOST) для оцінки потенційних доз опромінення населення від споживання морепродуктів, забруднених внаслідок аварії на АЕС Фукусіма-1;

- в Технологічному інституті Карлсруе (Німеччина) у частині розробки моделей переносу радіонуклідів у водних екосистемах та їхньої інтеграції в Гідромодуль системи RODOS.

Дисертаційна робота виконана здобувачем самостійно. З робіт, які виконані у співавторстві, використано результати, особисто отримані здобувачем.

Рекомендації щодо використання результатів. Отримані здобувачем теоретичні та практичні результати мають, безумовно, світове значення. Доцільне їх подальше використання в комп'ютерних системах прийняття рішень на державному і міжнародному рівнях для прогнозування стану радіаційного забруднення та створення рекомендацій щодо захисту населення в довготривалій перспективі.

Повнота викладу результатів роботи в опублікованих працях. Основні результати повно відображено у 45 наукових працях, зокрема у 17 статтях у виданнях, включених до наукометричних баз Scopus і Web of Science, 5 статтях у наукових фахових виданнях ДАК України, з яких дві одноосібні, та 23 публікаціях у збірниках праць наукових конференцій. Аналіз внеску здобувача у публікаціях з питань дисертації, виконаних у співавторстві, показав самостійність отриманих результатів.

В тексті дисертаційної роботи та публікаціях автора відсутні порушення академічної доброчесності. Дисертація оформлена згідно існуючих вимог, а автореферат відповідає змісту дисертації.

Зауваження щодо змісту дисертації:

1. Не надто чітко прописана наукова новизна роботи. Зокрема, варто було виділити, в якому плані нові розробки мають перевагу над існуючими. Наприклад, пункти наукової новизни у частині “вперше” можна було б сформулювати таким чином:

- розроблено метод інтеграції камерної моделі POSEIDON-R в існуючі платформи моделювання RODOS та PREDO, який, на відміну від існуючих, включає автоматичну передачу даних між моделями, що дозволило оцінити радіаційне забруднення морського середовища в результаті аварій на атомних об'єктах у глибині континенту та здійснити оцінку доз опромінення населення в результаті регулярних витоків радіонуклідів у морське середовище;
- розроблено метод розрахунку доз опромінення, отриманих населенням при споживанні продуктів харчування рослинного і тваринного походження, який, на відміну від існуючих, враховує забруднення через прісноводні шляхи переносу радіонуклідів, що дозволило при інтеграції із системою ядерного аварійного реагування RODOS розширити її функціональні можливості;
- розроблено кінетично-алометричну модель неоднорідного засвоєння забруднення в рибі, в якій враховуються особливості накопичування шкідливих речовин в різних тканинах риби, а також залежності швидкостей засвоєння і виведення забруднення від маси риби, що дало можливість оцінити шкідливий вплив від споживання забруднених морських продуктів на організм людини.

2. В роботі не наводиться загального визначення водної екосистеми, яка є домінуючим поняттям щодо теми дисертації, а розглядаються тільки окремі її складові, що не дає змоги оцінити повноту розкриття теми.

3. Недостатньо обґрунтовано вибір базової моделі з чисельним розв'язком усереднених по Рейнольдсу рівнянь переносу, не проаналізовані інші відомі математичні моделі процесів переносу в водоносних природних системах, наприклад, рівняннями Буссінеска, Лаврентьєва-Бицадзе, моделями середовищ з фрактальною структурою на основі методів просторової грануляції, , моделями багатофазної фільтрації та ін. До того ж, моделі «хижак-жертва» чи «засвоєння-виведення» дуже ефективно моделюються за допомогою мультиагентного підходу. Було б доречно розглянути і цей підхід для прогнозування стану екосистеми.

4. Не роз'яснено, в чому полягає вимога однорідності параметрів камерної моделі і як вона дотримується в ході моделювання. Так при визначенні алометричних сталих не вказані їх статистичні характеристики. Однак для забезпечення однорідності даних в межах камер необхідно дослідити статистичні критерії по основних параметрах. Також не пояснене поняття єдиного набору параметрів камерної моделі POSEIDON-R у висновках по 5му розділу.

5. Недоречне посилання у 2-му розділі (стор. 85) на рівняння (3.3) з 3-го розділу при викладенні кінетично-алометричної моделі.

6. При порівнянні результатів моделювання з даними експериментів враховуються довірчі інтервали для останніх, але при цьому ніяк не аналізуються статистична складова модельних даних. Це при тому, що на стор. 267 вказано, що більшість параметрів динамічної моделі переносу забруднення по ланцюжках живлення мають деяку невизначеність у величині своїх значень.

7. Некоректно використано термін кореляція між розрахованими і вимірними значеннями концентрації ^{137}Cs у воді за весь період розрахунку у 6-му розділі.

8. Не роз'яснено, в чому полягає різниця в таких термінах, як реконструкція, відтворення, адаптація, які використовуються при формулюванні результатів досліджень, та чим ці терміни відрізняються, наприклад, від прогнозування.

9. Розділ 7.3 «Використання результатів моделювання для підтримки прийняття рішень у системі RODOS» містить загальні відомості про стратегії застосування контрзаходів без наведення прикладів використання результатів моделювання системою, здійснених в рамках дисертаційного дослідження.

10. При висвітленні послідовності дій, необхідних для ініціалізації певної конфігурації моделі POSEIDON-R через інтерфейс системи RODOS, не вказано, що саме включає ця конфігурація.

11. Не надано роз'яснень, яким чином були використані дані про швидкості, рівні вільної поверхні, температури і солоності на границі між Балтійським і Північним морями, представлені на рис. Е.2-Е.5 в додатках для довготривалих періодів, при розрахунку граничних умов.

12. Враховуючи присутність невизначень, притаманних використаним моделям, в роботі не проведена оцінка ризику прогнозу, що є важливим фактором в процесі прийняття рішень.

Висновки. Вказані зауваження суттєво не зменшують загальну позитивну оцінку роботи. Автор досяг поставленої мети з розширення функціональності інформаційних систем для об'єктів атомної промисловості шляхом включення як нових, так і вдосконалених математичних моделей, призначених для розрахунку концентрації забруднюючих речовин у водному середовищі з використанням обмеженої кількості параметрів та оцінки можливого впливу на людину.

Дисертація є завершеним самостійним дослідженням, у якому розв'язується актуальна науково-прикладна проблема з розробки інформаційні технології моделювання забруднення водних екосистем для комп'ютерної підтримки рішень з радіаційної безпеки. За актуальністю обраної теми, обґрунтованістю наукових положень, сформульованих висновків і рекомендацій, їх новизною, повнотою викладення в наукових публікаціях та відсутністю порушень академічної доброчесності дисертаційна робота відповідає вимогам Порядку присудження наукових ступенів щодо докторських дисертацій, а її автор, Беженар Роман Васильович, заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології.

Професор кафедри інформаційних та комп'ютерних систем
Національного університету «Чернігівська політехніка»,
лауреат Державної премії України у галузі науки і техніки,
лауреат Державної премії України у галузі освіти,
доктор технічних наук, професор

 В. В. Казимир

Підпис Казимира В.В. завіряю.
Вчений секретар НУ «Чернігівська політехніка»
д.н. держ.упр, професор

 І.М. Олійченко

03 вересня 2020 року

