

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію Ковалінської Тетяни Володимирівни "Використання іонізуючого випромінювання в інноваційних технологіях" на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.04.16 – фізика ядра, елементарних частинок і високих енергій.

Актуальність роботи. Перспективність теми даної роботи підтверджується відомим фактом, що темпи впровадження радіаційних технологій в світі становлять близько 10-20 % на рік. На теперішній час різко зростає динаміка замовлень на прискорювальну техніку для різноманітних потреб, в тому числі високотехнологічного машинобудування. Реалізація економічних переваг у випадку залучення прискорювальної техніки, як одного з етапів технологічного процесу полягає в одержанні конкурентних переваг виробників на багатьох найбільш масштабних ринках продукції: будівельної, харчової, енергетичної. Окрім того, всі ці класи продукції у випадку застосування радіаційних технологій стають належними до категорії «зелених технологій», що дає їм кардинальну перевагу у просуванні на ринки розвинених країн.

З іншого боку передумовами впровадження радіаційних технологій є створенні підґрунтя для їх соціальної адаптації, оскільки суспільство дотепер перебуває в стані посттравматичного шоку від Чорнобильської аварії, (синергійно підсиленого аварією на АЕС «Фукусіма») і цілком обґрунтовано вимагає бездоганної прозорості, зрозумілості та безпечності від процесів, що використовують джерела іонізуючого випромінювання. Цей факт давно згенерував попит на створення радіаційних комплексів – імітаторів різних факторів ядерної енергії, на яких можна вивчати різноманітні складові радіаційного процесу. Аналіз перебігу найбільш значних ядерних аварій висуває з боку МАГАТЕ та вітчизняних регуляторів нові вимоги до проведення стрес-тестів щодо обладнання критичної інфраструктури АЕС, що потребує інструментів генерації відповідних чинників. Вказана сукупність проблемних напрямків є безумовно актуальною і цілком

відповідає масштабу докторської дисертації та узагальнена в постановці мети і її вирішенні.

Ще однією складовою даної роботи є вирішення задачі радіаційної модифікації бетонних матеріалів для зберігання відпрацьованого ядерного палива. Ця задача також потребувала наявності адаптованої радіаційної установки, відпрацювання режимів опромінення та дослідження характеристик радіаційно модифікованих зразків.

Відповідність роботи спеціальності не викликає сумнівів, оскільки її результати полягають в модернізації наявних ядерно-фізичних установок, на яких здобуто нові результати в галузі прикладної ядерної фізики та радіаційних технологій.

Робота виконана у відповідності з науковими планами установи – місяця виконання.

В першому розділі проведено ґрунтовний аналіз стану використання ядерної енергії з деталізацією відмінностей між енергетичними, спрямованими на генерацію електричної та теплової енергії, та неенергетичними, спрямованими на безпосереднє використання енергії випромінювання в технологічних процесах. Зазначений факт того, що ці технології узагальнюються та регулюються переліком міжнародних нормативних документів. Також наведена чітка фізично обґрунтована межа поділу між ядерними та радіаційними технологіями, що є визначальною, оскільки зазвичай доводиться давати відповідь на питання: а чи не є радіаційно модифікований продукт радіоактивним? Наведено обґрунтоване порівняння електрофізичних та ізотопних джерел, що використовуються в радіаційних процесах. Показано, що крім суто економічних міркувань, електрофізичні джерела мають технологічні переваги завдяки більшій гнучкості у досягненні потрібного значення потужності поглиненої дози та безпеці експлуатації. Проаналізовано вітчизняні підприємства, де застосовуються радіаційно-технологічні процеси з зазначенням виду прискорювальної техніки, її енергетичного діапазону та вартості одиниці

енергії випромінювання. Зроблений огляд суміжних до модифікуючої обробки напрямків застосування джерел випромінювання: напрацювання ізотопів для медичної промисловості, проведення селекційної роботи в насінництві. На підставі зробленого огляду дисертантка запропонувала системно-структурований підхід до напрямків інтеграції радіаційних технологій до виробничих процесів та вирішення найбільш гострих проблем сьогодення.

Так в другому розділі запропоновано підхід до утилізації відпрацьованої автомобільної гуми, який полягає в радіаційній деструкції полімерних гумових ланцюжків та їх подальшому використанні в виготовленні мастик, при цьому одночасно утилізуються супутні фіброматеріали. Таке рішення стало можливим завдяки обґрунтуванню значень потужності дози, поглиненої дози, об'єму реакційної камери та інших технологічних чинників. Оскільки реалізація технологічного режиму передбачає наявність джерела випромінювання в дисертації проведена інвентаризація можливостей всіх наявних в ІЯД НАН України джерел з огляду на їх можливі подальші прикладні застосування. Оскільки найбільш технологічним виявився прискорювач «Електроніка У-005» на його базі було запропоновано і створено низку узгодженого з динамікою поля випромінювання конвеєрного устаткування для подачі зразків в зону опромінення, контролю розподілу поля випромінювання, безпеки персоналу, контролю вологості та температури, пожежної безпеки, контейнерів для розміщення фантомів-імітаторів та ін.

На базі згаданого прискорювача був створений стенд для радіаційних випробувань обладнання, що експлуатується на АЕС, для чого була розроблена та створена гальмівна мішень, яка дозволяє імітувати поле гама випромінювання. Додатково запропоновано оригінальне рішення напівпрозорої гальмівної мішені для можливості формування змішаних полів випромінювання (електронного та гама).

Третій розділ дисертації відштовхується від відомого факту, що у кожного прискорювача є своя можлива найнижча межа енергії частинок, а в діапазоні 0,1-0,5 MeV міститься чимало технологічно перспективних ефектів, отже необхідно або купувати, або за можливості модернізувати прискорювач на згаданий діапазон. Він є дійсно вельми перспективним, оскільки, завдяки потужностям понад 10 кВт, дозволяє реалізувати радіаційно-термічні режими, що відкриває можливості для модифікації металів, твердотільних композитів, мінералів тощо. Отже було модернізовано прискорювач на енергію частинок до 0,5 MeV, а наявність прискорювача з енергіями до 4 MeV дозволила створити унікальну технологію модифікації бетону, що передбачала об'ємне зміцнення високоенергетичними електронами та наступну модифікацію поверхневого шару електронами на 0,4 MeV з метою зниження водопроникнення. Взагалі проблема стійкості та ресурсу бетону є не менш актуальною, аніж стійкість корпусу реактора, оскільки конфайнмент так само не підлягає заміні в процесі експлуатації і повинен виконувати свої захисні функції як протягом проєктного періоду, так і після зупинки реактора. Тому перспектива здобутого результату є неоціненною для безпеки ядерної енергетики. Вивчено також можливості комбінації прискорювачів з енергіями електронів до 0.1-5 MeV та досліджені застосування до знезараження потенційно інфікованих стічних вод.

Особливою новизною відрізняється підхід до застосування штучно згенерованих аероіонів. Те, що в природному повітрі порушення балансу іонів на користь негативних за припущенням фахівців є запорукою життя – факт відомий. Але це спонукало дисертантку до вивчення технологічних ефектів впливу штучно одержаних аероіонів на продукти органічного походження. Для цього була розроблена власна концепція аероіонізації, яка ґрунтується на урахуванні балансу позитивних та негативних іонів, а також ролі частинок у повітрі, які є акумуляторами заряду. Була розроблена і створена установка з генерації аероіонів достатньої інтенсивності та

рівномірності поля опромінення. Коректність результатів досліджень підтверджується створеною метрологічною системою.

Зміст четвертого розділу витікає з того, що у радіаційно-технологічного процесу є стадія розробки його наукових основ. При цьому необхідно не тільки досягнути заданого результату при обробці технологічного об'єкту, але й відтворити всі чинники, що будуть діяти в умовах виробництва (вторинні (паразитні) поля випромінювання, напрацювання радикалів в газах повітря, радіаційно-термічні ефекти та ін. Тому напрямки розвитку експериментальної бази розглядались виходячи з потреб доведення до промислового впровадження виявлених дисертанткою радіаційних ефектів. Запропоновано підходи в створенні імітаційного набору дози кабельними виробами, що експлуатуються на АЕС. До новітніх радіаційних ефектів належить довготривала активація фізіологічних розчинів, що використовуються для обробки ран та показують кращу ефективність загоювання у порівнянні з необробленими радіацією. Проаналізовано перспективи ринку ядерних мембран та запропонована технологія їх виготовлення, що полягає в розрихленні плівок вздовж треків легкими іонами з наступною сенсibiliзацією електронним пучком. Ефективність такого підходу підтверджена результатами електронної мікроскопії.

На базі комплексу радіаційних установок ІЯД НАН України розроблено імітатор, що відтворює ситуації, які можуть виникнути при радіаційній аварії або подіях, пов'язаних з інтенсивним опроміненням.

П'ятий розділ присвячено опису одержаних дисертанткою унікальних результатів в напрямку застосування радіаційних процесів в галузях харчового виробництва, які завдяки цьому стають на вищій щабель технологічного устрою. Так було розвинено аероіонні технології обробки рибної продукції, як альтернативу застосуванню хіміко-термічної обробки, консервуванню та ін. Доведено, що незважаючи на невеликі значення енергії іонів процес модифікації ініціюється не тільки на поверхні, а й по всьому

об'єму продукції. Зазначається та доводиться унікальність споживчих характеристик такої продукції.

Одержано результати щодо впливу потоків аероіонів на мікробіологічні середовища, доведено наявність вираженого бактерицидного ефекту. Встановлено, що енергоефективність процесу зневоднення риби шляхом обробки аероіонами в 30-50 разів краща за традиційну сушку в термошафах.

Шостий розділ присвячений розробці наукових основ радіаційних технологій для галузей промисловості. Так в цивільному будівництві та в енергетиці є проблема руйнування бетону внаслідок реакцій гідратації цементного вапна. Для запобігання цьому необхідно вжити заходів для зменшення здатності бетону поглинати вологу, що досягається введенням різноманітних пластифікаторів. Разом з тим для стабільності утворюваної твердотільної структури необхідно ініціювати реакції утворення поперечних зшивок, завдяки яким відбувається зміцнення бетону, його стійкість до розтріскування та водонасичення. Інструментом такої активації є потоки прискорених електронів. Дисертантка використала модернізований прискорювач електронів на енергію до 10 MeV для проведення реакції полімеризації з використанням широкої низки композитів в широкому діапазоні доз. Ефективність синтезу нових хімічних зв'язків визначалась шляхом вимірювання ІЧ спектрів. Для відпрацювання технологічних режимів була розроблена фантомна методика технологічної дозиметрії процесів одержання полімер-бетонних композитів. Також цей підхід був успішно застосований для одержання вологостійкої фанери та бітумних мастик.

Кількість публікацій відповідає вимогам до докторських дисертацій..
Результати опубліковані в провідних вітчизняних та зарубіжних виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз Scopus та Web of Science.

Автореферат повністю відображає зміст дисертаційної роботи.

Разом з тим до роботи є декілька зауважень.

1. При аналізі радіаційно-технологічних процесів, що використовуються в Україні, слід було зазначити, що в ТОВ «Азовська кабельна компанія» (м. Бердянськ) (колишня назва «Азовкабель») діє лінія з радіаційної модифікації кабельної ізоляції. Це сучасне високотехнологічне виробництво і воно варте уваги.

2. В роботі трапляються невдалі переклади, наприклад, «слоїсті структури», тоді як слід писати «шаруваті».

3. Недостатньо ретельно проаналізовано теоретичні моделі утворення треків в мембранах, адже є відомими модель термічного піку, модель утворення хвилі зарядової густини, які властиві для важких іонів. В чому полягає фізична відмінність для випадку опромінення легкими іонами?

Висловлені зауваження не знижують позитивного враження від роботи.

В роботі вирішено науково-технічну проблему модернізації комплексу електрофізичних джерел іонізуючого випромінювання та розробки на їх основі низки радіаційних процесів для високотехнологічних галузей економіки. Дисертаційна робота відповідає вимогам Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника, а її автор Ковалінська Тетяна Володимирівна, безумовно, заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.04.16 – фізика ядра, елементарних частинок і високих енергій.

Директор Інституту електрофізики
і радіаційних технологій НАН України
доктор технічних наук,
старший науковий співробітник



В.В.Литвиненко

28.08.2021

