

ІНСТИТУТ ЯДЕРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НАН УКРАЇНИ

КОВАЛІНСЬКА Тетяна Володимирівна

УДК 621.384.644.3

**ВИКОРИСТАННЯ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ
В ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ**

01.04.16 – фізика ядра, елементарних частинок і високих енергій

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Київ 2021

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано в Інституті ядерних досліджень Національної академії наук України

Науковий консультант: доктор технічних наук, старший науковий співробітник

Сахно Віктор Іванович, головний науковий співробітник сектору радіаційних технологій відділу структури ядра Інституту ядерних досліджень НАН України

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, старший науковий співробітник

Литвиненко Володимир Вікторович, директор Інституту електрофізики і радіаційних технологій НАН України

доктор технічних наук, доцент

Головко Тетяна Миколаївна, професор кафедри товарознавства та експертизи Харківського державного університету харчування та торгівлі

доктор технічних наук

Борисенко Володимир Іванович завідувач відділення атомної енергетики Інституту проблем безпеки атомних електростанцій НАН України

Захист відбудеться 23 вересня 2021 року о 14⁴⁵ год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.167.01 в Інституті ядерних досліджень НАН України за адресою: 03028, м. Київ, проспект Науки, 47.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Інституту ядерних досліджень НАН України за адресою: проспект Науки, 47, м. Київ, 03028, Україна

Автореферат розіслано 13 серпня 2021 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради Д 26.167.01

кандидат фізико-математичних наук



Хоменков В.П.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сучасна промисловість у всьому світі характеризується зростанням обсягів використання ядерної енергії в різних галузях. Фундаментальні та прикладні дослідження цього напрямку характерні для всіх розвинутих країн. Визначальною умовою організації досліджень є створення науково-дослідних експериментальних установок, здатних генерувати іонізуючі випромінювання з необхідними параметрами для здійснення експериментальних досліджень, та пошук нових методів використання ядерної енергії для вирішення актуальних завдань розвитку промисловості.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Наукові дослідження проведено у рамках науково-дослідних робіт в Інституті ядерних досліджень НАН України, що виконувались на замовлення Національної академії наук України та інших замовників з 2011 по 2020 рр.: “Радіаційні зміни органічних матеріалів, поширених у виробництві кабельних виробів, що застосовуються на АЕС” (2011, ДР №0111U007039), “Дослідження впливу іонів низьких енергій на структури матеріалів” (2012-2016, ДР №0112U003596), “Розробка нових радіаційно-технологічних методів подовження термінів експлуатації бетонних конструкцій на об’єктах атомної енергетики” (2013-2014 ДР №0113U005377, 2015-2016, ДР №0115U004374), “Дослідження збуджених атомних ядер і механізмів ядерних процесів в біляпорогових реакціях” (2013-2017), “Експериментальна обробка зразків препаратів замовника” (2014, за Договором №73-332/14), “Наукові основи радіаційних технологій складних органічних матеріалів природного походження” (2015, ДР №0115U004106), “Розробка радіаційних технологій отримання та дослідження методів застосування гідролізних наноматеріалів для ядерної та традиційної медицини” (2016-2018, ДР№0116U002989), “Електрофізичний технічний комплекс для імітації уражуючих факторів ядерного впливу” (2019-2021, ДР №0119U01835), “Нанопористі термостійкі полімерні матеріали” – “ПОЛІНАНОПОР” (2018, ДР №0118U002342, 2019, ДР№0119U102067, 2020 ДР№0120U103160), “Дослідження поділу ядер в низькоенергетичній області, розробка нових методів реєстрації” (2018-2021), “Дослідження структури ядер, механізмів ядерних реакцій та фізичних процесів в пучках заряджених частинок продуктів поділу ядер та вивчення фізичних процесів у пучках заряджених іонів” (2019-2022).

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є дослідження перспективних шляхів використання іонізуючого випромінювання в інноваційних технологіях виробництва.

Для досягнення мети поставлено наступні **завдання**:

- Визначити перелік і вимоги до фізичних параметрів технічних засобів, які необхідно забезпечити на сучасному етапі розвитку радіаційних технологій.
- Дослідити методи використання енергії випромінювань для вирішення екологічних проблем утилізації промислових відходів і матеріалів.
- Вивчити можливості удосконалення радіаційної техніки до потреб будівельної індустрії.
- Дослідити проблеми формування радіаційних полів великого перерізу, необхідних для подальшого прогресу функціональних випробувань і сертифікації критичного обладнання в ядерній енергетиці.

- Дослідити ефективність системи трансформації емітансу пучка, специфіку роботи елементів та їх можливі конструкції. Розробити оперативні методики розрахунків та технічні засоби контролю.
- Вивчити можливості використання потоків аероіонів, іонів атмосферних газів невисокої енергії, не вище 50 кеВ з концентраціями понад 10^7 іон/см³ для різних галузей промисловості.
- Випробувати методики радіаційних технологій для дослідження функціональності критичного обладнання АЕС.
- Вивчити імітатори як перспективний напрямок прикладних досліджень з використанням ядерної енергії.
- Дослідити технологію термостійких ядерних фільтрів (мембран) підвищеної міцності та інших нанопористих полімерних матеріалів для різних галузей виробництва.
- Дослідити можливості радіаційних технологій для модифікації сировини та подовження термінів зберігання харчових продуктів.
- Розробити способи радіаційно-хімічної модифікації бетону, асфальту та деревини для підвищення їх споживчих властивостей.

Об'єкти дослідження – процеси модифікації структури матеріалів під дією іонізуючої радіації. Промислові технології з використанням енергії різних видів іонізуючих випромінювань та технічні засоби їх генерації для експериментальних досліджень та прикладних робіт

Предмет дослідження – шляхи розвитку інноваційних технологій з використанням іонізуючих випромінювань, напрямки розвитку експериментальної радіаційної техніки, методи її використання в різних галузях промисловості.

В обсязі досліджень – методики радіаційної модифікації матеріалів, радіаційна техніка та інноваційні технології з їх використанням.

Методи досліджень. Експериментальні дослідження, аналіз опублікованих матеріалів, натурне моделювання, розробка проектів технічних засобів генерації випромінювань, практичні випробування інноваційних технологій використання іонізуючої радіації.

Наукова новизна одержаних результатів.

Створено багатоцільовий науково-дослідний радіаційний технічний комплекс для фундаментальних і прикладних досліджень з широким переліком доступних іонізуючих випромінювань.

Розроблено інноваційні методи використання енергії іонізуючих випромінювань для медичної, харчової, будівельної галузей, дорожнього будівництва та вирішення екологічних проблем.

Створено та досліджено оригінальну методику використання мегавольтних електронів для покращення характеристик твердих будівельних матеріалів.

Встановлено межі поглинутих доз радіаційної обробки електронами, оптимальні для отримання керованого процесу радіаційно-хімічної модифікації бетонів з метою гідрофобізації та зміцнення.

Створено радіаційну методику модифікації, яка забезпечує отримання бетону з суттєво покращеними технічними характеристиками, а саме:

- у 32 рази зменшується водопоглинання;

- на 34% зростає міцність на стискання;
- у 4 рази зростає водонепроникність;
- у 2 рази підвищується морозостійкість.

Розроблено нові оригінальні методи використання енергії випромінювань при виробництві харчових продуктів, що гарантують високу якість і безпеку споживання та виключають застосування хімічних речовин.

Встановлено перелік наукових і технологічних умов ефективного використання енергії мегавольтних електронів для радіаційної обробки харчових продуктів.

Вперше розроблено наукову основу використання енергії атмосферних іонів для промислових радіаційних технологій. Розширено знання про малодосліджені процеси формування, прискорення, транспортування в атмосфері іонів низьких і наднизьких енергій. Виявлено механізми їх використання для модифікації широкого кола органічних матеріалів. Встановлено, що концентровані потоки іонів атмосферних газів (аероіонів) впливають на фізичний стан опромінюваного органічного матеріалу і стимулюють його модифікацію через тепломасові процеси.

Вперше досліджено динаміку тепломасових процесів та способи керування ними в іонних технологіях переробки харчової сировини. Встановлено, що обробка харчових продуктів аероіонами стимулює природні процеси молекулярної перебудови та модифікації їхнього хімічного складу до стану готового до споживання харчового продукту.

Вперше створено новий прикладний електрофізичний радіаційний напрямок використання іонного опромінювання для ефективного енергозберігаючого виробництва харчових продуктів.

Створено наукову основу проектування дослідницької техніки для вивчення можливостей застосування аероіонів в інноваційних радіаційних технологіях та розроблено методи вимірювання їхніх параметрів.

Отримали подальший розвиток методи радіаційних функціональних випробувань обладнання, критичного для експлуатації АЕС шляхом досліджень функціональності комплектуючих матеріалів.

Розроблено та реалізовано удосконалену структуру радіаційного експериментального комплексу з розширеним діапазоном енергії та набором заряджених частинок. Втілюється проект удосконалення радіаційного комплексу ІЯД НАН України потужною установкою генерації електронів 0,4 МеВ.

Підтверджено ефективність радіації як універсального інструменту цілеспрямованого регулювання властивостей кінцевого продукту.

Практичне значення одержаних результатів.

Удосконалено та передано в користування дослідницький радіаційний комплекс ІЯД НАН України.

Розроблено технологію радіаційно-модифікованого бетону (РМПБ) підвищеної міцності та стійкого до корозії, шляхом введення до складу бетону нових вітчизняних нетоксичних олігомерів з примусовим твердненням в матеріалі під дією мегавольтних електронів. Успішно здійснено комплексну розробку технології та техніки, яка забезпечує виробництво РМПБ з характеристиками, суттєво вищими за типовий бетон – нового композитного матеріалу придатного для експлуатації в екстремальних умовах.

Створено спеціалізовану дослідницьку радіаційну техніку, методики та засоби контролю в процесах опромінення для досліджень і випробувань важких (до 50 кг) зразків з щільних матеріалів, яка ще не має вітчизняних аналогів.

Виготовлено РМПБ та встановлено його реальні показники згідно діючих стандартів будівельної галузі. Виявлено підвищення довговічності РМПБ при експлуатації в несприятливих умовах, що є корисною при виробництві бетонних та залізобетонних конструкцій для критичних галузей – атомної енергетики, хімічного виробництва, сховищ радіоактивних і токсичних відходів.

Розроблено науково-технологічну основу даного напрямку радіаційних технологій, а саме: сформульовано нові підходи до формування структури цементуючих систем для бетонних конструкцій в ядерній енергетиці та індустрії, радіаційні технології нових термостійких матеріалів підвищеної міцності для дорожнього покриття, армовані відходами фіброматеріалів та вторинними полімерами.

Розроблено оригінальну радіаційну технологію виробництва трекових ядерних мембран різного призначення з нових термостійких і міцних вітчизняних полімерних матеріалів.

Встановлено технічні деталі, що є важливими для впровадження інноваційних радіаційних технологій у промисловість – габаритні та вагові показники упаковок харчової продукції для її конвеєрної дезінфекції електронами 4 MeV, застереження щодо рецептур харчових продуктів з метою виключення з їх складу синтетичних консервантів, фумігантів, ароматизаторів, стабілізаторів, які під дією енергії випромінювання можуть стимулювати небажані хімічні реакції. Розроблено методики технологічної дозиметрії при радіаційній обробці великих партій харчових продуктів, упакованих в транспортну тару, реалізованих на традиційних виробничих лініях.

Особистий внесок здобувача полягає у дослідженні стану проблеми, виборі й аргументуванні теми, формулюванні наукової концепції роботи, її теоретичному та експериментальному підтвердженні, проведенні аналітичних та експериментальних досліджень, формулюванні висновків, підготовці матеріалів до публікацій, активній участі в отриманні та аналізі експериментальних результатів, редагуванні статей на етапах взаємодії з журналами.

У матеріалах, що опубліковано у співавторстві, автору належать: наукове обґрунтування теоретичних положень, постановка, планування, проведення експериментів, аналіз отриманих результатів, формулювання та узагальнення основних висновків.

Апробація результатів дисертації.

Результати досліджень, викладені у дисертації, були представлені на 19 конференціях:

- Щорічних конференціях Інституту ядерних досліджень НАН України (Київ, Україна, 2012-2020, усні та стендові доповіді);
- The 4th International Conference "Current Problems in Nuclear Physics and Atomic Energy (Київ, Україна, 2012, усна доповідь);
- Міжнародних конференціях «Інтегроване управління водними ресурсами» (Київ, Україна, 2013, 2014, усні доповіді);

- Міжнародна конференція молодих учених і аспірантів (Ужгород, Україна, 2013, 2015, усні доповіді);
- 3rd International Conference on Sustainable Construction Materials & Technologies (Кіото, Японія, 2013, усна доповідь співавтором);
- ROSAM is a Polychar satellite meeting (Руан, Франція, 2013, усна доповідь співавтором);
- 2nd International Symposium on Cement-based Materials for Nuclear Wastes (Авіньйон, Франція, 2014, стендова доповідь);
- VII Міжнародна науково-практична конференція вчених, аспірантів і студентів (Київ, Україна, 2017, усна доповідь співавтором);
- Compiled by International Cooperation Department Shandong Academy of Sciences (Жинан, Китай, 2017, усна доповідь співавтором),

а також на наукових семінарах відділу структури ядра Інституту ядерних досліджень НАН України (Київ, 2012-2020), на міжнародних наукових семінарах Інституту хімії високомолекулярних сполук (2014-2015, 2018-2020), міжнародному семінарі «Радиационные технологии в промышленности и медицине» (Астана, Казахстан, 2013, усна доповідь).

Публікації. Результати дисертаційної роботи опубліковано у 75 роботах, у тому числі в 1 монографії (розділ 1), 22 статтях у фахових наукових журналах та 5 збірниках матеріалів міжнародних конференцій, 4 патентах, 43 тезах доповідей на наукових конференціях.

Структура дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, 6 розділів, практичних результатів, висновків, списку використаних джерел з 303 найменувань. Загальний обсяг роботи – 392 сторінки, з них 327 основного тексту, вона містить 35 таблиць та 198 рисунків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ

У **ВСТУПІ** обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету і завдання досліджень, визначено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, представлено дані щодо апробації результатів дисертації, відзначено особистий внесок автора.

У **РОЗДІЛІ 1** аналізується стан проблеми. Розглянуто поточний стан промислового використання ядерної енергії (радіаційних технологій) у світі, в Україні та в ІЯД НАН України. Узагальнено методичні та технічні недоліки, досвід останніх 20 років проектування і реалізації експериментальних установок для досліджень шляхів впровадження методів прикладної ядерної фізики до промислового виробництва. Базою досліджень і предметом удосконалення обрано експериментальну науково-технологічну радіаційну установку ІЯД НАН України, призначену для прикладних досліджень з щільними потоками електронів 4-5 МеВ. Ця установка є основним осередком досліджень, спрямованих на використання мегавольтних електронів у промислових технологіях.

Проаналізовано досвід розробок дослідницької радіаційної техніки наукового призначення на основі одного джерела іонізуючих випромінювань. Узагальнено досвід їх використання та удосконалення. Показано, що для таких структур

радіаційної техніки проблемою є здійснення прикладних технологічних розробок та випробовування нових технологій.

Досліджено шляхи удосконалення радіаційної установки ІЯД: визначено реальний стан та перспективні напрямки модернізації радіаційної установки для розширення обсягів прикладних досліджень. Актуальність визначають програми розвитку атомної енергетики, інших галузей промисловості та науки. Встановлено, що радіаційна установка ІЯД є ефективним технологічним інструментом, який максимально відповідає базовим вимогам традиційних радіаційних технологій та дозволяє вести дослідження в усіх рекомендованих МАГАТЕ напрямках мирного застосування ядерної енергії. Таку універсальну радіаційну техніку у вітчизняній практиці реалізовано вперше, що є позитивним прикладом прогресивного підходу до вирішення проблеми конструювання техніки для прикладних досліджень. Але на сьогодні перспективи прогресу радіаційних технологій, окреслені 40 років тому, практично вичерпано. На часі дослідження методів широкого залучення ядерної енергії до економічного розвитку суспільства. Встановлено, що актуальною і першочерговою задачею для досягнення мети є створення сучасної технічної бази прикладних досліджень. Але таке завдання неможливо виконати без супутніх досліджень зміни властивостей матерії під дією радіації.

З цією метою розроблено схему комплексних досліджень, яка надає можливість отримувати інформацію для проектування всіх складових нових радіаційних технологій. Схема (рис. 1) поєднує дослідження механізмів модифікації матеріалу та шляхів їх практичного використання і формування вимог щодо удосконалення/розробки технічних засобів.

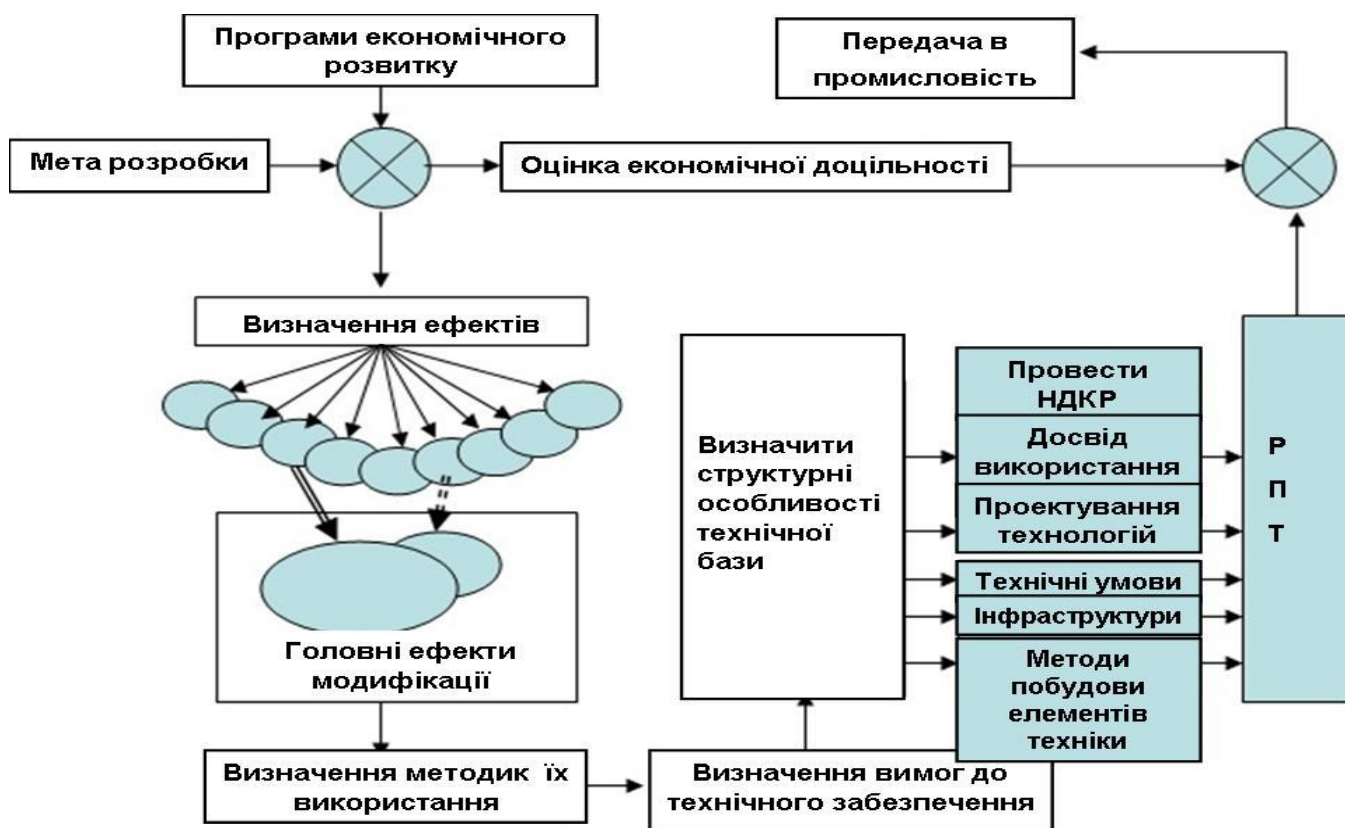


Рис. 1 Схема досліджень шляхів розвитку техніки для прикладних радіаційних досліджень

Досліджено методи проектування інноваційних радіаційних технологій. Встановлено основне призначення технологій – модифікація сировини з метою отримання кінцевого продукту з заданими властивостями. З урахуванням цього розроблено методику проектування нових радіаційних технологічних процесів (рис. 2).

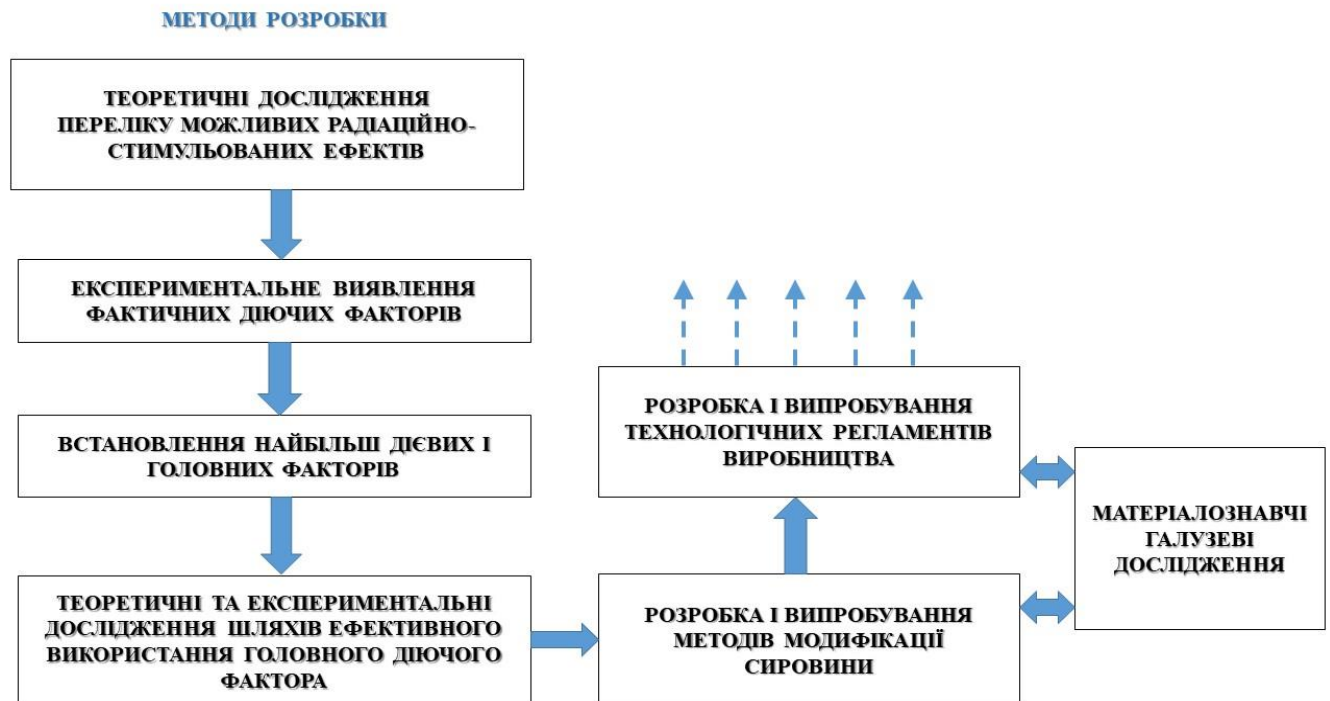


Рис. 2 Схема методики розробки технологічних процесів

Методика узгоджує дослідження радіаційних факторів модифікації матеріалів з розробкою проектів технологічних регламентів. З отриманих результатів виділяються найдієвіші етапи і визначається оптимальна послідовність технологічних операцій та результати усіх технологічних етапів. Якщо дослідження встановлюють відповідність нових матеріалів заданим вимогам, то розробляється технічне завдання на проектування техніки та дослідження ефективності технології в промисловості.

Наведено матеріали досліджень вимог до технічного удосконалення експериментальної ядерно-фізичної техніки ІЯД та шляхів її залучення до вирішення сучасних потреб промислових технологій. Обґрунтовано необхідність модернізації техніки з метою розширення функцій та її адаптації до нових перспективних технологічних процесів. Визначено перелік і встановлено вимоги до фізичних параметрів, які необхідно забезпечити за допомогою технічних засобів на сучасному етапі розвитку радіаційних технологій. Для фізичних досліджень – випромінювання e^- , γ , $W_{e^-} = \text{const.}$ з мінімальною шириною енергетичного спектру та з максимально можливим діапазоном регулювання інтенсивності. Для прикладних досліджень – випромінювання e^- , γ , α , n , e ($W < 10 \text{ MeV}$) з обмеженим діапазоном регулювання інтенсивності, але з можливістю отримання потоків радіації великого перерізу.

Встановлено необхідність наблизити схему установки до існуючої на реальному виробництві та ввести в її склад засоби моделювання характерних технологічних функцій виробництва. На кінцевому етапі схема удосконаленої установки повинна бути наближеною до наведеної на рис. 3.

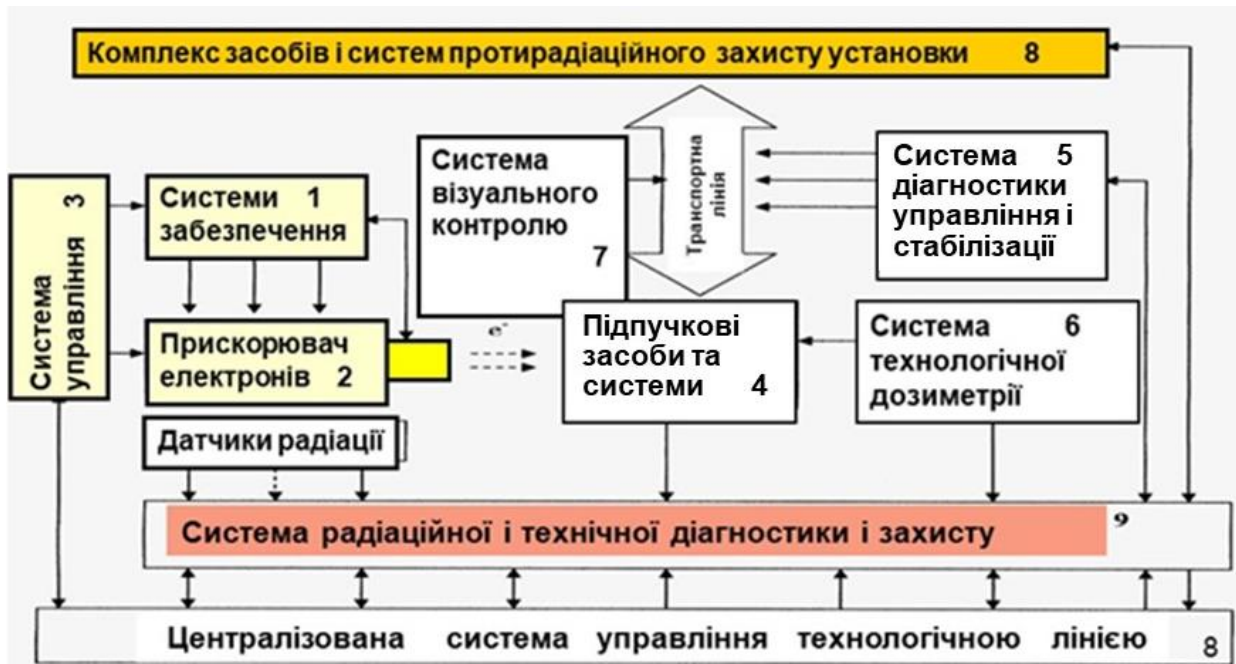


Рис. 3 Схема удосконаленої експериментальної науково-технічної радіаційної установки ІЯД

Визначено оптимальні шляхи такого удосконалення з урахуванням попереднього досвіду її розробки та експлуатації.

Досліджено проблеми метрології в радіаційних технологічних процесах з метою забезпечення їх стабільності. Завданням було визначення науково-технічних основ розробки і удосконалення засобів технологічної дозиметрії. Проблемою була відсутність досвіду комплексного підходу до створення системи радіаційних вимірювань та технологічної дозиметрії на установках для прикладних досліджень.

З цією метою для радіаційної установки ІЯД розроблено датчики для вимірювання струму пучка електронів у атмосфері, його максимальної енергії, конфігурації поля опромінювання та електроніки прийому/обробки отриманої інформації. Встановлено ефективність удосконаленої системи технологічної дозиметрії в дослідженнях і випробуваннях радіаційних процесів з переліку рекомендованих МАГАТЕ для екології, харчової галузі, медицини та індустрії.

У **РОЗДІЛІ 2** досліджено методи використання енергії випромінювань для вирішення екологічних проблем. Встановлено необхідність удосконалення підпучкової техніки реакційної камери експериментальної установки. З цією метою створено додаткові засоби механізації та автоматизації експериментів. Їх призначення – дистанційна маніпуляція зразками різних промислових відходів і матеріалів, переміщення датчиків радіаційних і технічних параметрів, у тому числі в процесі опромінювання.

Удосконалена установка забезпечила дослідження різних ефектів впливу радіації на матеріали, промислові відходи, проектування і опрацювання методики модифікації відходів у корисні матеріали. На рис. 4 показано практичне використання ефекту деструкції складної органіки під впливом ядерної енергії.

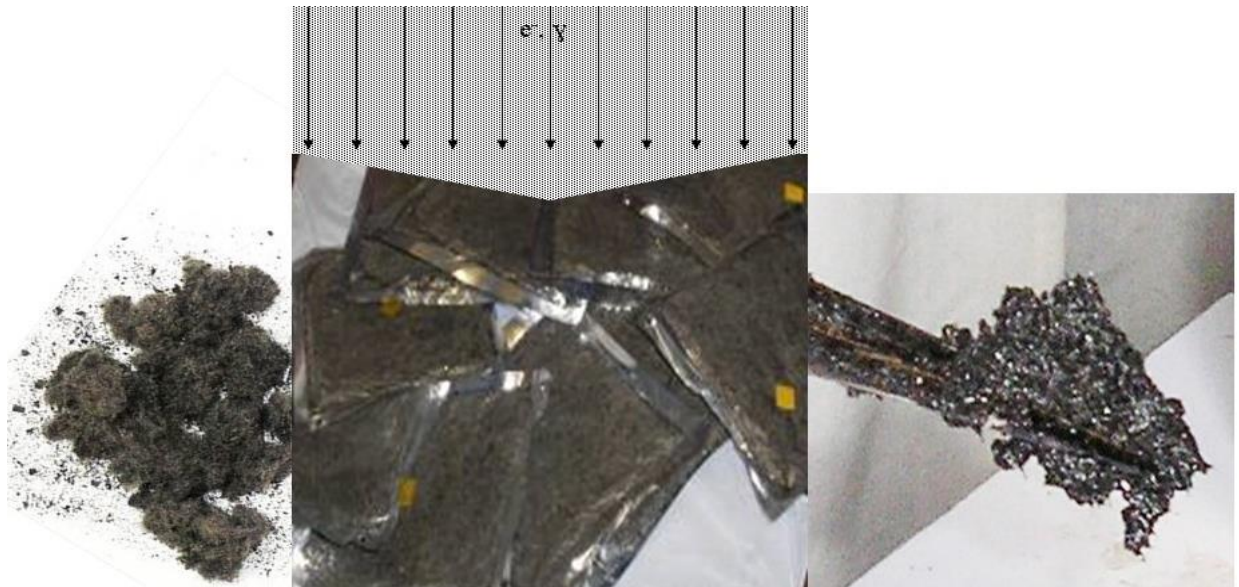


Рис. 4. Результат використання модернізованої установки в нових радіаційних технологіях знешкодження пухкої та легкозаймистої пірофорної канцерогенної суміші фіброматеріалів від переробки зношеної автогуми (зліва) у в'язку та пластичну масу для гідроізоляції чи покрівельного матеріалу (справа)

Описано дослідження шляхів удосконалення радіаційної техніки при адаптації до потреб будівельної індустрії. Встановлено, що необхідно опромінювати габаритні важкі матеріали та вироби. Основні завдання адаптації радіаційної установки – удосконалення системи транспортування цементних виробів та розробка засобів метрології процесів.

З цією метою для установки створено оригінальну прецизійну технологічну лінію з операційним конвеєром рис. 5. Лінія складається з механічних і електронних елементів, засобів захисту, контролю переміщення, індикаторів стану, логіки керування, засобів місцевого та централізованого управління через канали зв'язку з пультом установки. Модернізація забезпечує високу стабільність переміщення матеріалу та стабільність поглинутої дози опромінювання та можливість маніпуляції дослідними зразками, в тому числі під пучком.

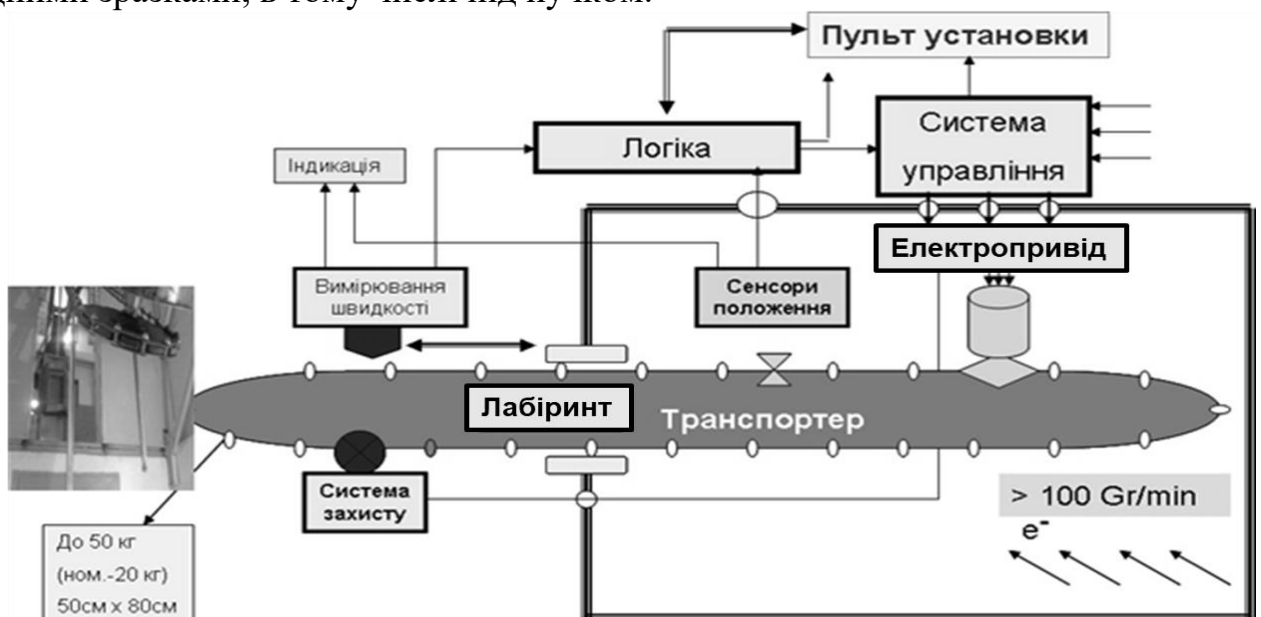


Рис. 5 Удосконалена транспортна лінія для подавання бетонних виробів

Досліджено проблеми формування радіаційних полів великого перерізу, необхідних для подальшого прогресу функціональних випробувань і сертифікації критичного обладнання в ядерній енергетиці. Встановлено, що основною проблемою таких технологічних процесів є отримання рівномірних радіаційних полів (чистих та змішаних) великих розмірів, для розміщення там габаритних зразків чи обладнання і забезпечення рівномірного розподілу поглинутої енергії електронів по об'єму опромінюваного об'єкту.

Проблема вирішується шляхом трансформації емітансу виведеного пучка електронів системою розсіювальних і відбиваючих екранів.

Експериментально досліджено ефективність трансформації емітансу, специфіку роботи елементів системи, їх можливі конструкції, розроблено оперативні методики розрахунків та технічні засоби контролю. Така система трансформації, встановлена в реакційній камері установки, надала можливість сформувати «чисте» радіаційне поле електронів з нерівномірністю менше 15% і об'ємом 0,8 м×0,8 м×0,8 м та змішане гама-електронне поле з нерівномірністю менше 20% (рис. 6).

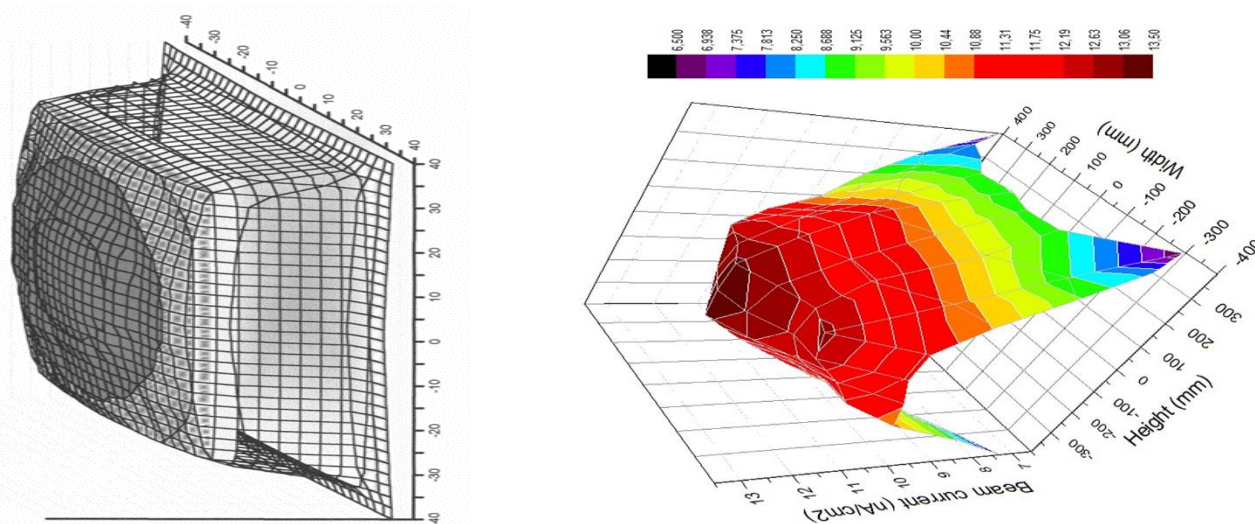


Рис. 6 Розподіл радіаційних полів в реакційній камері на установці ІЯД.
Зліва – поле електронів, справа – змішане поле

Отримано номограму попередньої оцінки конфігурації радіаційного поля. Виявлено зміщення положення осі змішаного поля.

Створена система не має аналогів і дозволяє формувати радіаційні поля у великих об'ємах до 1 м³, в тому числі «чистих» полів з мегавольтних електронів, а з використанням гальмівних мішеней – полів фотонів гальмівного випромінювання.

Наведено матеріали досліджень шляхів подальшого розвитку радіаційних методів випробування та сертифікації обладнання, критичного для надійності експлуатації АЕС. Встановлено, що умовою розвитку цього напрямку є розширення енергетичного спектру випромінювань в області низьких енергій та формування складних суперпозицій полів опромінювання з електронів, гама-квантів та іонів атмосферних газів. Встановлено метрологічну проблему контролю експозиційної та поглинутої дози при опромінюванні габаритного обладнання та промислових виробів великої ваги. Запропоновано технічні засоби оперативного контролю радіаційних

полів на основі оберненого включення промислових лічильників іонізуючих випромінювань, здатних вимірювати інтенсивності радіаційних полів у широкому діапазоні.

У результаті модернізації радіаційної установки ІЯД НАН України отримано можливість проведення кваліфікаційних випробувань елементів ядерних енергоустановок габаритними розмірами до 0,8 м×0,8 м×0,8 м (типу М76341) систем аварійного газовідведення та захисту.

Описано проведену модернізацію радіаційної техніки для цільових програм використання ядерної енергії. Завданням цих досліджень є встановлення шляхів адаптації радіаційної техніки з метою виконання цільових програм використання ядерної енергії. Встановлено, що основним недоліком експериментальних установок з одним джерелом радіації є енергетичні обмеження генерованих іонізуючих випромінювань. Такі джерела генерують випромінювання з відносно вузьким енергетичним спектром (до 5%), а технологічні джерела проектуються для експлуатації з максимальним струмом пучка. Їх удосконалення є різноплановою задачею. Для розширення можливостей радіаційної установки з прискорювачем електронів модернізовано діючі та створено нові електронні системи керування обладнанням, удосконалено засоби метрології радіаційних процесів, контролю режимів генеруючого обладнання, дозиметрії та інших заходів удосконалення експериментальної техніки, які розширили можливості здійснення прикладних досліджень. Експлуатація модернізованої техніки показала, що глибока модернізація дослідницької установки, на базі навіть одного джерела електронів, надає можливість створити багатоцільовий експериментальний комплекс прикладних досліджень. Такий комплекс здатний забезпечити значний об'єм прикладних досліджень і отримати реальні результати використання ядерних знань для розвитку радіаційних технологій.

У **РОЗДІЛІ 3** наведено результати досліджень світових тенденцій прогресу радіаційних технологій з метою визначення перспективних шляхів подальшого удосконалення експериментальної бази ІЯД. Встановлено, що в поточній конфігурації радіаційної установки відсутні технічні можливості досліджень взаємодії радіації з промисловими матеріалами та виробами в діапазоні енергій 0,1-0,5 МеВ. Це створює проблеми подальшого розвитку в ІЯД прикладних досліджень з радіаційної фізики, радіаційної хімії, радіаційного матеріалознавства, радіаційних технологій, атомної енергетики, хоча випромінювання цього діапазону енергій характеризуються широким застосуванням у вирішенні актуальних економічних і соціальних проблем.

Було поставлено завдання розробки шляхів подальшого удосконалення радіаційної техніки для розширення експериментальних можливостей. З цією метою в складі існуючого радіаційного комплексу ІЯД з прискорювачем електронів 4 МеВ створено додаткове інтенсивне джерело електронів енергією 0,4-0,5 МеВ. Вибрано варіант використання прискорювача електронів прямої дії 0,5 МеВ/20-30 кВт, який складається з джерела високої напруги 500 кВ, генератора-інжектора електронів, блоку прискорення, системи випуску пучка в атмосферу через титанову фольгу 20 мкм. Вузли установки охоплено системою управління через центральний пульт. Основні елементи нової установки змонтовано в спеціально підготовлених

приміщеннях, в тому числі з протирадіаційним захистом, для розташування прискорювача.

У результаті створено технічний комплекс (рис. 7) для прикладних досліджень з електронами та фотонами пікометрового діапазону електромагнітних хвиль.

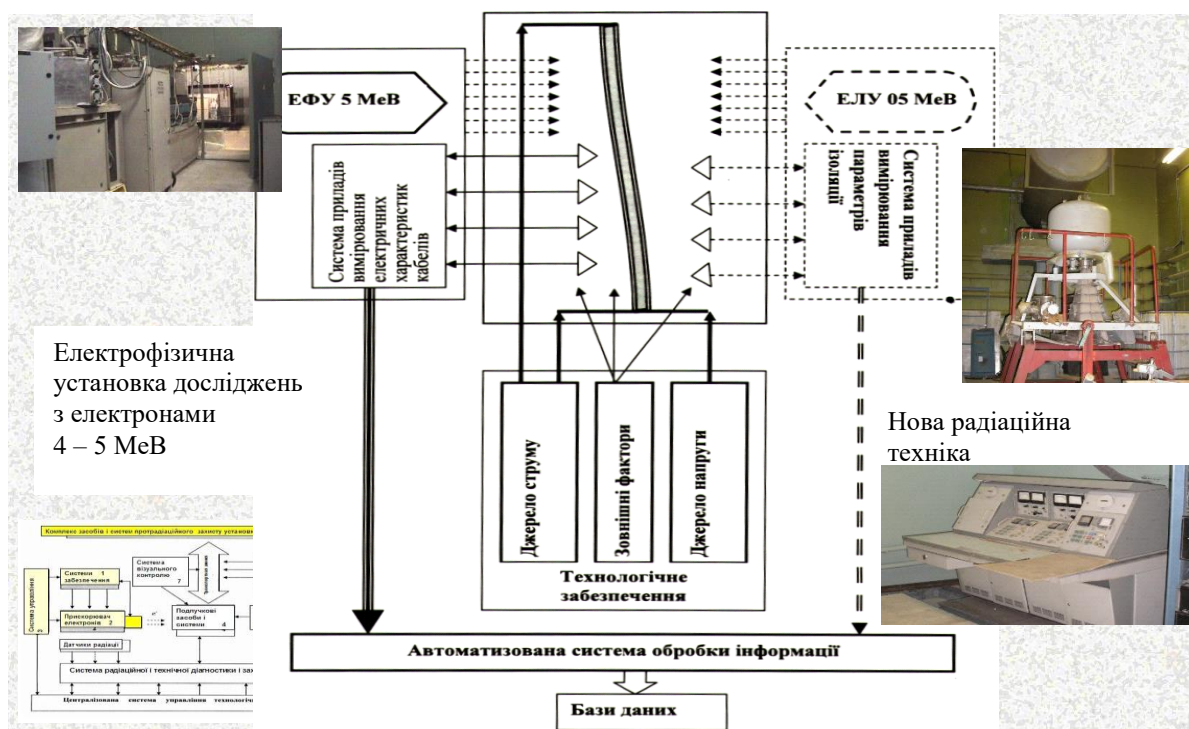


Рис. 7 Удосконалений радіаційний комплекс, розроблений для прикладних досліджень з розширеним спектром електронів

Досліджено можливість реалізації радіаційних технологій не тільки за допомогою електронів та гама-випромінювання, а також перспективним є використання іонів, які виключають утворення небажаних ефектів. Встановлено, що такими є іони газів невисокої енергії до 50 кеВ. Проблемою їх застосування для промислових процесів є необхідність опромінювати матеріали в атмосфері. Вирішення цієї проблеми знайдено у використанні аероіонів – продуктів іонізації атмосфери електричними полями високої напруги, НВЧ-енергією, енергією радіоактивних елементів.

Для іонних досліджень розроблено електрофізичну експериментальну установку, здатну опромінювати матеріали іонами відносно невисоких енергій. На ній експериментально досліджено можливість залучення до радіаційних технологій широкого набору заряджених частинок цього типу. Експериментально підтверджено припущення про можливість впливу на структурні зміни матеріалів іонів низьких і наднизьких енергій. Встановлено перелік матеріалів, здатних до модифікації іонами їхньої фізичної структури та хімічного складу – органічні матеріали штучного (полімери) і природного (харчова сировина) походження. Для досліджень цих процесів лабораторну установку доповнено новими розробленими нами конструкціями іонних генераторів та дослідницькими стендами. Їх об'єднано в лабораторію аероіонних технологій, яка поки що аналогів у світі не має і стала

вагомим доповненням радіаційного дослідницького комплексу ІЯД та розширила його експериментальні можливості (рис. 8).

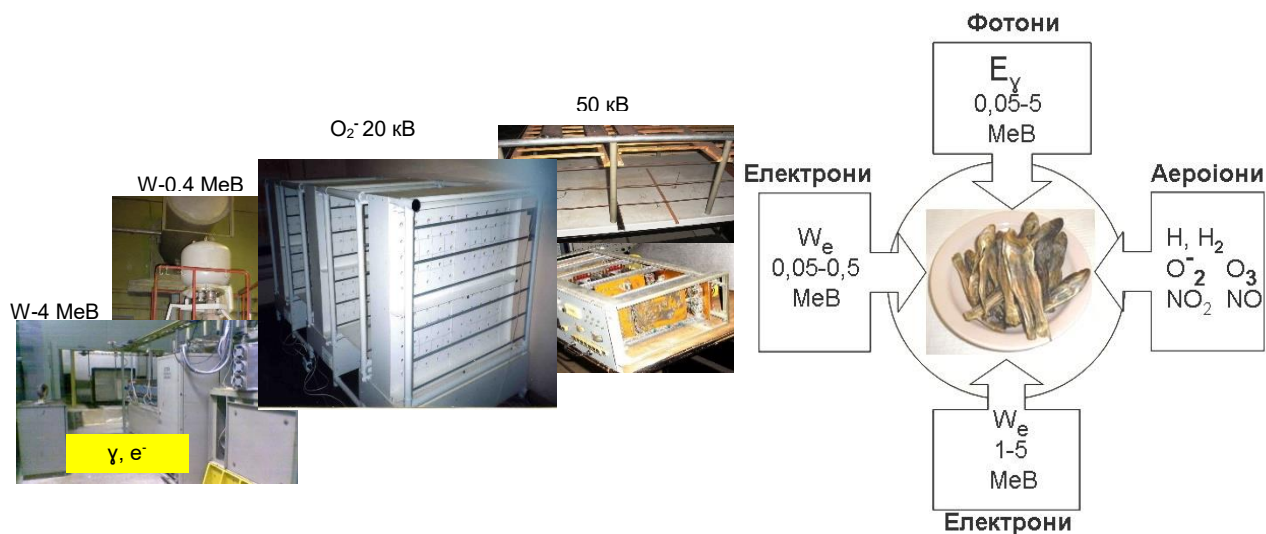


Рис. 8 Технічне удосконалення радіаційного комплексу ІЯД

На удосконаленому комплексі досліджуються фізика аероіонів, методики їх застосування, особливості техніки іонних технологій, здійснюються дослідження і випробування технологічних процесів з електронами. Досліджено взаємодію аероіонів з різними матеріалами, принципи конструювання радіаційної техніки для промисловості, актуальні напрямки розвитку енергоощадних харчових технологій.

Виявлено можливість промислового використання енергії низько енергетичних заряджених частинок в різних галузях виробництва і розроблено ряд інноваційних проектів таких технологій. Встановлено, що головною проблемою конструювання технічних засобів для іонних технологій є необхідність генерувати в атмосфері інтенсивні направлені потоки аероіонів з концентраціями понад 10^7 іон/см³.

На комплексі випробувано нові методики радіаційних технологій для дослідження функціональності критичного обладнання АЕС, технології наноматеріалів для промисловості та медицини, можливості ядерних і радіаційних методів в технологіях промислових матеріалів та інші перспективні методи промислового використання ядерної енергії, що ґрунтуються на ефектах дії на зовнішні оболонкові структури атомів з метою керування радикальним механізмом модифікації матеріалів.

У **РОЗДІЛІ 4** досліджено перспективні напрямки структурного розвитку експериментальної бази прикладних досліджень. Завданням було визначення шляхів подальшого розвитку методів та техніки промислового використання ядерної енергії.

Описано імітатори як перспективний напрямок прикладних досліджень з використанням ядерної енергії. Визначено основні тенденції розвитку прикладних ядерних досліджень. Встановлено, що перспективними є лише комплексні міжгалузеві дослідження, які виконуються на універсальній дослідницькій техніці з можливостями здійснення різнопланових досліджень. Для цього необхідно створювати технічні комплекси для відтворення природних і експлуатаційних факторів. Досліджено основні вимоги до таких імітаторів. Встановлено, що імітатори

– це складні комплекси ядерно-фізичної техніки, за допомогою яких можливо відтворювати різні експлуатаційні і зовнішні фактори впливу (з радіацією включно). Обґрунтовано, що вони є перспективним напрямком розвитку технічної бази прикладних ядерних і радіаційних досліджень. Встановлено, що лише імітатори здатні забезпечити випробування всіх важливих параметрів технологічних процесів, деталей машин, матеріалів, промислової техніки тощо, шляхом одночасного відтворення усіх експлуатаційних, супутніх і зовнішніх факторів (фізичних, хімічних, механічних, електричних тощо), властивих для умов їхнього практичного застосування. Доведено ефективність імітаторів на базі однієї та кількох ядерно-фізичних установок.

Досліджено варіант імітатора на одному джерелі випромінювання (рис. 9). Об'єктом досліджень був імітатор, створений для організації комплексних медико-біологічних досліджень на базі радіаційної установки ІЯД з електронами 4 MeV, доукомплектованої спеціально розробленими технічними засобами здійснення та метрології досліджень.

При утворенні цього імітатора розширено діапазон регулювання інтенсивності пучка, створено засоби конверсії енергії електронів у інші види випромінювань, засоби формування конфігурації та складу радіаційних полів (чистих та змішаних), розроблено засоби забезпечення життєдіяльності піддослідних біологічних об'єктів, засоби метрології експериментальних робіт, необхідні засоби місцевого протирадіаційного захисту тощо. Проведено дослідження характеристик і можливостей імітатора. Вперше здійснено оригінальну методику передачі енергії випромінювання до віддалених об'єктів через проміжні реакції з гідролізатами для лікування складних радіаційно-термічних опікових ран (рис.10).

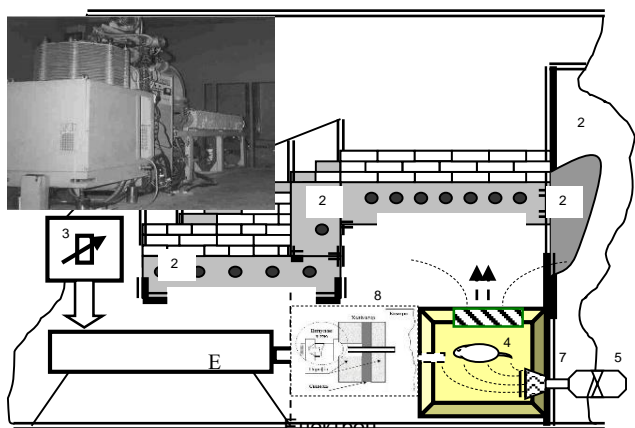


Рис. 9 Імітатор різних видів радіації та супутніх ефектів – фотонів, нейтронів, продуктів радіолізу для медико-біологічних досліджень на основі прискорювача електронів

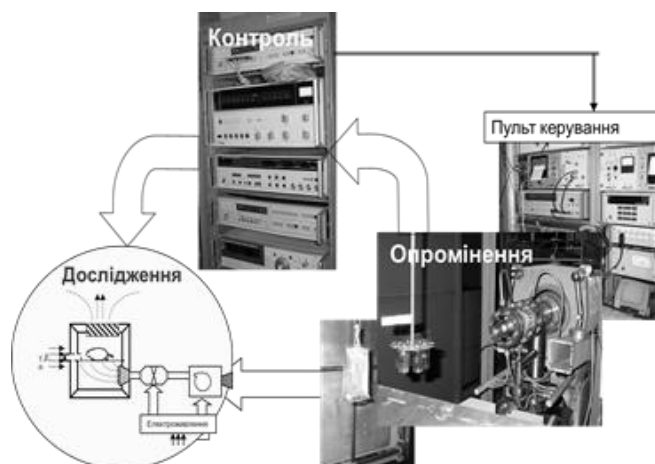


Рис. 10 Дослідження методів передачі енергії випромінювань до віддалених об'єктів

Доведено, що прикладні дослідження з імітацією низки одночасно діючих факторів ядерної енергії надає нові можливості експериментаторам.

Досліджено ефективність імітаторів складної структури. Завданням було експериментальне встановлення доцільності та ефективності створення складних

імітаторів. Об'єктом досліджень вибрано імітатор технологічних умов виробництва термостійких ядерних фільтрів (рис. 11), утворений на базі двох електрофізичних установок – 120-сантиметрового дейтронного циклотрона 12 MeV та лінійного прискорювача електронів 4 MeV.

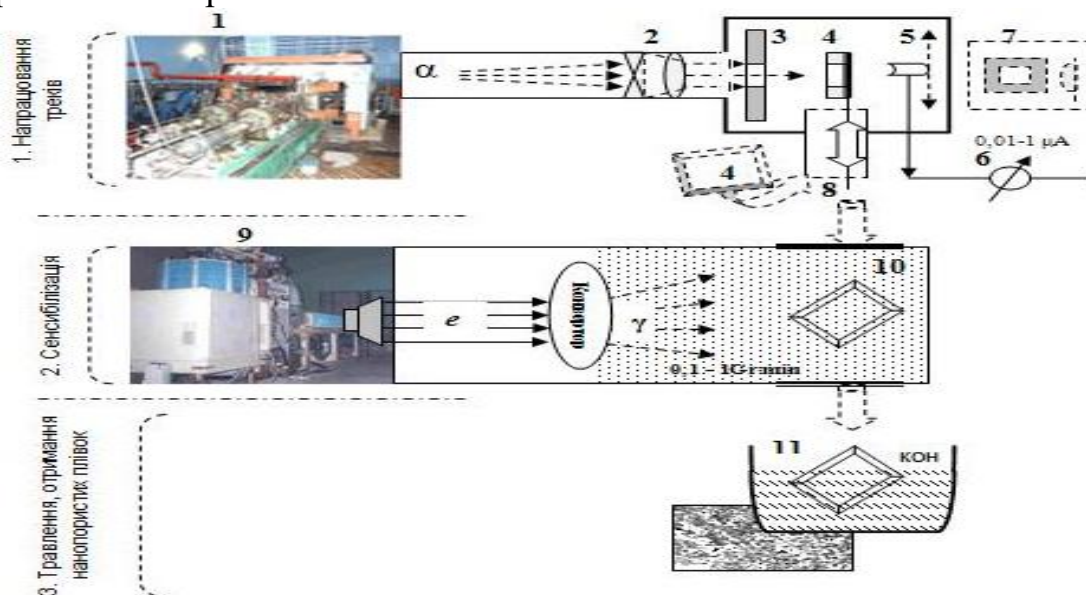


Рис. 11 Технічний комплекс для імітації умов виробництва треків термостійких ядерних мембран

Встановлено, що така структура імітатора забезпечує можливість розробки та випробування технологій з використанням легких іонів та фотонів мегавольтних енергій. Досліджено оригінальну трекову технологію термостійких ядерних фільтрів (мембран) підвищеної міцності та інших нанопористих полімерних матеріалів для різних галузей виробництва, яка дозволяє отримувати міцні мембрани завтовшки до 100 мкм, що є недоступними традиційним технологіям.

Описано технічний комплекс імітації критичних ситуацій, які пов'язані з проблемами безпечного поводження з ядерною енергією. Завданням було дослідити ефективність імітатора (рис.12), утвореного з декількох ядерно-фізичних установок. Об'єктом досліджень вибрано технічний комплекс для імітації всіх діючих та супутніх факторів ядерної енергії на живу матерію. Мета – розширення можливості досліджень та практичного застосування техніки ІЯД в медицині, оборонній галузі, радіобіології, ядерній енергетиці.

Досліджено і експериментально випробувано шляхи залучення інших діючих ядерно-фізичних установок, наприклад, до функціонального випробування і сертифікації критичного обладнання АЕС.

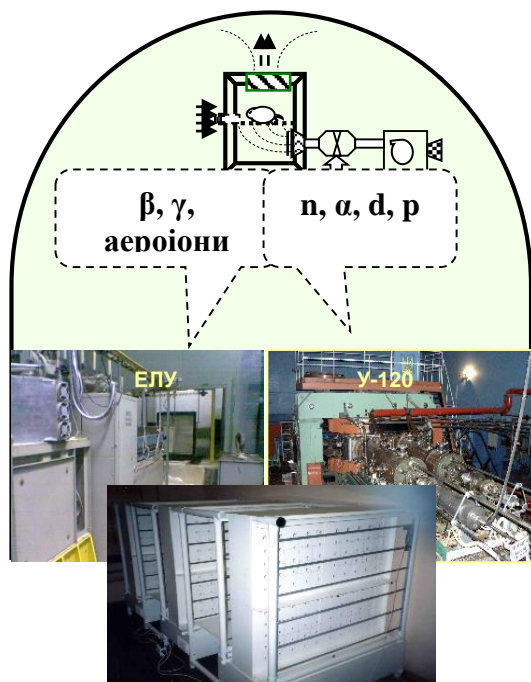


Рис. 12 Технічний комплекс-імітатор уражаючих факторів

функціонального випробування і сертифікації критичного обладнання АЕС.

Встановлено, що це забезпечить підвищення точності експертних висновків і урахування функціональності комплектуючих матеріалів.

У РОЗДІЛІ 5 наводяться інноваційні розробки радіаційних технологій в різних галузях промисловості. В першу чергу, це радіаційні технології для харчового виробництва.

Досліджено актуальність радіаційних технологій для харчового виробництва. Виявлено переваги технологій з використанням ядерної енергії на всіх етапах виробництва, логістики харчових продуктів та сировини. Встановлено, що радіаційні технології гарантують мікробіологічну безпечність, виключають мікробіологічне псування при зберіганні, чим знижують епідемічні ризики. Встановлено, що залучення енергії випромінювання вирішує проблеми ефективного керування процесами модифікації сировини, зменшення енерговитрат, зниження собівартості, збільшення терміну безпечного зберігання та зниження вимог до умов їх зберігання, виключення необхідності застосування синтетичних харчових добавок. Водночас, спостерігається відсутність єдиного технічного підходу до поширення радіаційних технологій в харчовій галузі.

В ІЯД НАН України дослідження орієнтовані виключно на електрофізичну техніку та розвиваються в двох напрямках – традиційному (пікохвильова обробка – опромінення гама-променями до 5 MeV або електронами до 10 MeV) та нетрадиційному напрямку – опромінення іонами низьких та наднизьких енергій. Метою досліджень є подолання проблем, які гальмують широке залучення ядерної енергії для обробки харчових продуктів. Завдання – розробка інноваційних напрямків застосування ядерної енергії для вирішення актуальних проблем виробництва харчових продуктів. Досліджено фізику процесів, що відбувається при опроміненні, особливості модифікації структури органіки різними видами іонізуючої радіації, енергетичні особливості радіаційних технологій.

Дослідження здійснювалися з необхідними технологічними елементами промислового виробництва, шляхом випробувань різних методів використання енергії іонізуючих випромінювань в умовах, наближених до реального виробництва.

Експериментально встановлено, що в харчових пікохвильових технологіях енергію електронів 4 MeV доцільно вважати граничною. Визначено, що при опроміненні електронами повинна бути обмежена потужність дози на рівні 0,02 кГр/с. Встановлено, що в такому режимі електронної обробки поглинутими дозами 2-3 кГр найбільш виразно проявляється іонізаційний механізм знешкодження мікрофлори та селективність дії радіації на живу матерію (мікроорганізми) і практично не пошкоджуються інші складові в харчовій органіці. Пікохвильова обробка дозволяє повністю виключити застосування будь-яких харчових консервантів. Виявлено, що такий режим опромінювання практично не впливає на температуру матеріалу і не відбувається небажаних змін його хімічного складу. Встановлено, що вирішальним супутнім фактором опромінення харчових продуктів є радіоліз води, що входить до складу цих продуктів. А тому режим опромінювання повинен враховувати динаміку процесів радіолізу, які не становлять ніяких токсичних проблем, але можуть впливати на фізичні властивості (колір, щільність, запах) та смакові показники продуктів («електронний» присмак).

Експериментально доведено високу економічність пікохвильової обробки харчових продуктів потоками електронів з енергіями 2-4 МеВ – енерговитрати процесу всього 10 Вт·кг продукції. З урахуванням встановлених особливостей та застережень пікохвильової обробки розроблено технологію промислової оперативної дезінфекції при зберіганні та логістиці готової продукції. Завданням було подовження термінів безпечного зберігання продукції на шляху від виробника до споживача. Необхідність дезінфекції об'єктивно виникає при логістиці харчових продуктів. В кінці регламентного строку зберігання доброякісних продуктів наближаються до межі своїх технічних допусків за мікробіологічними показниками і виникає ризик їх псування та потенційна небезпека для споживачів. Ідею методу наведено на рис. 13.

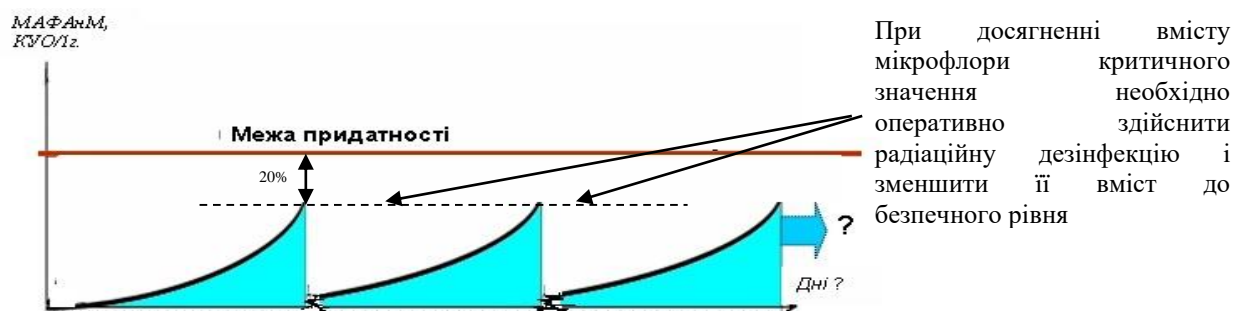


Рис. 13 Іонізаційний механізм знешкодження мікрофлори

При її втіленні досліджено динаміку вмісту мікрофлори в залежності від потужності експозиційної дози і величини дози поглинутої енергії випромінювання.

Досліджено вплив радіаційної обробки на хімічну структуру опромінюваного матеріалу та залежність ефекту від зовнішніх умов радіаційного процесу. Отримана залежність ефекту від поглинутої дози – основа практичного використання методу (рис. 14).

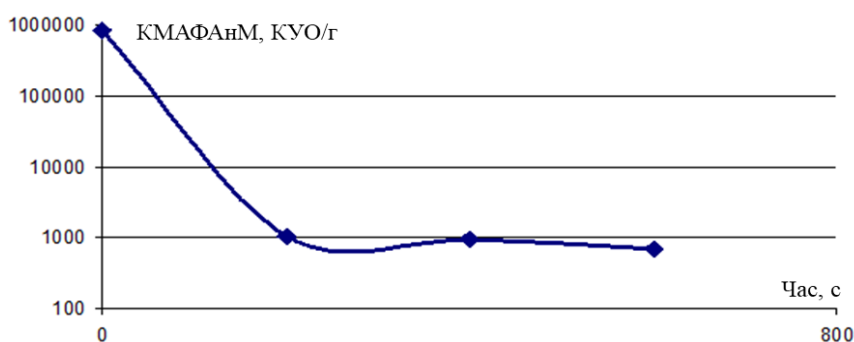


Рис. 14 Ефективність знешкодження мікрофлори

Встановлено, що опромінення електронами є ефективним способом пригнічення активності мікрофлори в продукті без суттєвого впливу на його фізико-хімічні й органолептичні показники, встановлено оптимальні режими делікатної радіаційної обробки та досліджено вплив зовнішніх факторів (упаковка, температура, логістика) на ефективність дезінфекції. Доведено можливість пікохвильової дезінфекції готової харчової продукції, виготовленої за традиційними технологіями – соління, копчення, в'ялення тощо. Для реалізації не потрібно створювати нові спеціальні установки. Доцільно використати вже опрацьовані конструкції установок,

аналогічні радіаційній установці ІЯД з розробленою для неї технологією пікохвильової пастеризації пресервів. Встановлено оптимальний режим радіаційного процесу дезінфекції електронами 4 МеВ, потужністю дози не вищою 0,01 кГр/с, поглинутою дозою до 1,5 кГр в залежності від продукту. В такому режимі практично не відзначаються побічні ефекти дії радіації (окислення, радіоліз, небажані хімічні перетворення під впливом випромінювання). При оптимальному режимі радіаційної обробки дезінфікований продукт за органолептикою мало відрізняється від свіжовиготовленого.

Для радіаційних технологій з неоднорідною харчовою сировиною було досліджено особливості та визначено оптимальні методи використання мегавольтних електронів для технологічної обробки гетерогенних структур органічної сировини. Ця проблема є актуальною для виробництва харчових продуктів з особливо цінної морської сировини – молюсків. При їхніх унікальних харчових показниках, вони мають структурну особливість – щільний шар колагенової тканини на поверхні. Досліджено ефективність такої модифікації.

Дослідження показали, що ці щільні тканини суттєво розм'якшуються при підвищених до 40 кГр і більше поглинутих дозах радіації. Але при таких дозах неможливо отримати необхідний технологічний ефект через появу «електронного» присмаку, що погіршує органолептичні показники якості готового продукту та надмірно розм'якшує м'ясо молюска. Вперше було запропоновано радіаційну методику обробки такої сировини в радіаційному полі складної форми та методику його формування.

Для обробки м'яса молюска (тут – рапана Чорноморська) було утворено радіаційне поле складної просторової й енергетичної структури, щоб на приповерхневих шарах, де розміщені максимальні об'єми твердих включень, поглиналось більше енергії, ніж у самому продукті (рис. 15).

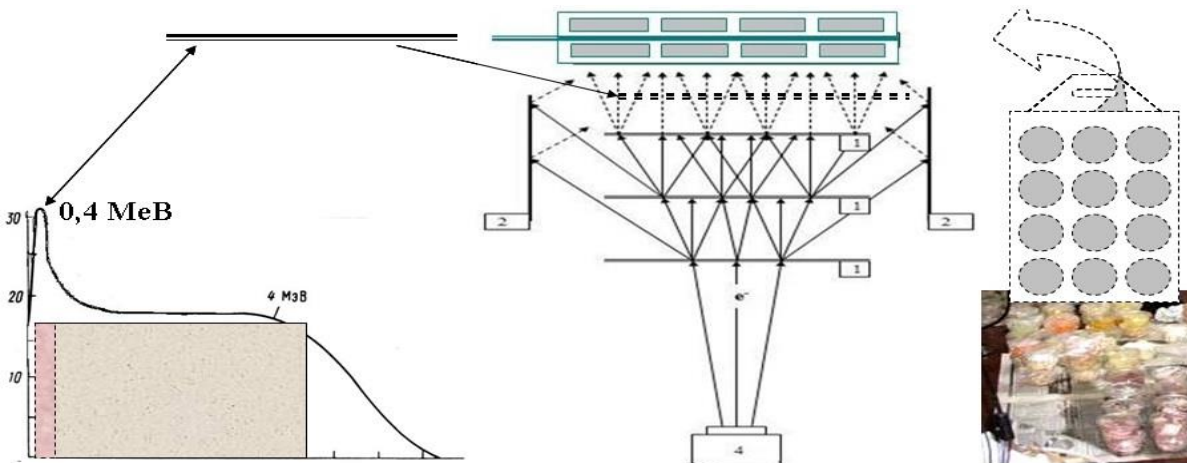


Рис. 15 Технологія обробки неоднорідної сировини

Складне радіаційне поле утворено системою розсіювачів і рефlectorів. Перед упаковкою з продуктами вводиться спеціальний тонкий розсіювач, що збільшує вміст електронів низьких енергій і забезпечує необхідний розподіл поглинутої дози. Вказані заходи дозволили створити технологію виробництва високоякісного харчового делікатесного продукту з морської вітчизняної сировини, доступний пересічному споживачу. Аналогів такої технології поки що немає.

Вона успішно випробувана для модифікації сировини при виробництві сурімі та іншої багатокомпонентної харчової продукції з комбінованої сировини (рулети), пресерви з важко визріваючої сировини (прісноводної риби). Отримані результати засвідчили, що пікохвильові технології є перспективним і актуальним напрямком харчового виробництва.

Практичні результати досліджень пікохвильових технологій харчових продуктів дозволили встановити, що опромінювати можна практично усі види сировини, при цьому енерговитрати будуть найнижчими, виключається застосування харчових консервантів та фумігантів, харчові продукти не нагріваються і зберігають свою свіжість та фізичний стан, можуть оброблятися в упаковках. Не виявлено погіршення органолептичних, фізико-хімічних і мікробіологічних показників якості харчових продуктів при пікохвильовій обробці. Додаткові витрати складають усього 0,2-5 % собівартості продукту. При опромінюванні харчової сировини доцільно обмежувати енергію електронів на рівні 4 MeV та потужністю дози 0,02 кГр/с. При опроміненні у вказаних межах, температура матеріалу зростає не більше, ніж на 3 °C і не становить ніякої проблеми для технології виробництва та якості продуктів.

Досліджено і розроблено інноваційні іонні радіаційні технології харчових продуктів з метою встановлення можливостей використання іонів атмосферних газів (аероіонів) для їхнього виробництва. Завданням цих робіт було створення технічних засобів генерації потоків іонів, створення методів і засобів їх контролю, розробка промислових іонних технологій та принципів конструювання технічних засобів для впровадження радіаційних технологій з використанням аероіонів у промисловість. Дослідження заповнюють дефіцит наукових знань про взаємодію органіки з іонами низьких енергій, вивчену лише для досить вузького діапазону енергій гама-випромінювань та електронів (0,1-10 MeV). Встановлено, що діапазон енергій випромінювань знаходиться між верхнім діапазоном інфрачервоного та ультрафіолетового випромінювань і заряджених частинок з енергією від одиниць eV до 10-20 keV. З огляду на вимоги сучасної харчової промисловості щодо інтенсифікації виробництва харчових продуктів, знешкодження відходів, покращення загальної екологічної ситуації Землі, привабливим є ефективне використання аероіонів. Технологічна перспектива аероіонів не викликає сумнів, бо у складі продуктів іонізації атмосфери значний перелік активних речовин та заряджених частинок O_2^- , O_3 , N_xO_x , O . Більшість з них перспективні для досягнення основної мети технологічних досліджень – передати енергію до матеріалу сировини та ініціювати процеси її модифікації у харчовий продукт.

Технологічне використання аероіонів в навколишньому середовищі можна спостерігати в деяких районах земної кулі. Продукція, отримана за рахунок природної іонізації має найвищу вартість на ринку та належить до переліку високоякісних делікатесних харчових продуктів, але може вироблятися в обмежених кількостях і лише в певні періоди року. Було поставлено завдання відтворити такі умови безпосередньо на виробництві та в концентраціях вищих за природні. Для їх реалізації було створено спеціалізований стенд (рис. 16).

Встановлено, що особливістю розробки нового обладнання є необхідність створення генераторів інтенсивних потоків іонізованих газів. Доведено доцільність їх конструювання за принципами прискорювачів заряджених частинок.



Рис. 16 Стенд харчових аероіонних технологій

Досліджено проблеми метрології аероіонів та їх вплив на ефективність досліджень і верифікацію результатів. Проблеми конструювання засобів метрології в іонних технологіях виникають через специфіку практичного використання заряджених частинок низької та наднизької енергії в реальних технологічних процесах, що здебільшого здійснюються в атмосфері різних газів, у відкритому просторі, при різних температурах, енергіях та атмосферному тиску. Більшість відомих в прикладній ядерній фізиці методів вимірювання та метрології експериментів тут

непридатні. Для досягнення поставленої мети розроблено метод та структуру техніки для вимірювання концентрації та енергетичного складу атмосферних іонів низьких та наднизьких енергій. Запропоновано спектрометричний аналіз іонізованого повітря за схемою, що наведено на рис. 17.

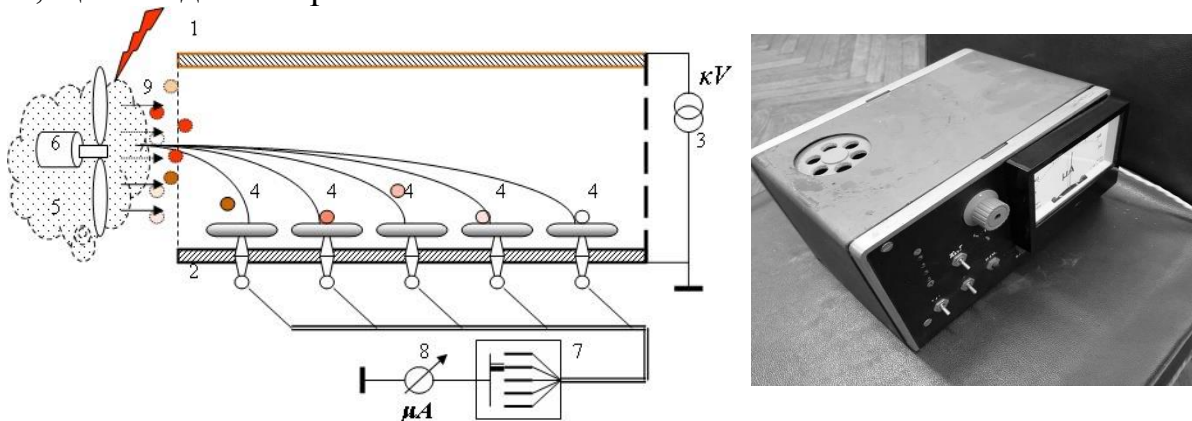


Рис. 17 Спектрометр аероіонів

Іонізоване повітря (9) вентилятором (6) нагнітається в камеру спектрометра (1) і рухається вздовж каналу спектрометрії в поперечному електричному полі (3). Траєкторії іонів залежать від енергії, заряду і маси. За цими показниками вони розділяються та осідають на відповідних сенсорах (4). Інформація з сенсорів знімається за допомогою комутатора (7) на вимірювальний прилад – інтегратор струму (8) на операційному підсилювачі. Спектрометр сконструйовано як окремий переносний прилад.

Наведено результати досліджень фізичних процесів формування пучків іонів низьких енергій атмосферних газів в електрофізичних установках. Досліджено процеси генерації аероіонів в робочих камерах іонних електрофізичних установок. Встановлено особливості динаміки їх прискорення та формування направлених потоків аероіонів. Експериментально підтверджено припущення, що лише конструювання іонних генераторів на принципах прискорювачів заряджених

частинок прямої дії є дієвим методом отримання концентрованих потоків аероіонів. Отримана нова інформація є важливою для прогресу радіаційних технологій з використанням заряджених частинок низької енергії, для створення нових технічних засобів для здійснення промислових процесів та є корисною для вивчення фізики аероіонів природного походження. Розроблено і випробувано оптимальні методики компенсації кулонівських сил деструкції інтенсивних пучків аероіонів на стартових етапах їх прискорення та при транспортуванні до опромінюваних об'єктів.

Вперше створено дослідницьку техніку для експериментального вивчення малодосліджених процесів формування, прискорення, транспортування та вимірювання параметрів низькоенергетичних заряджених частинок низьких енергій та наднизьких енергій в атмосфері. Отримано можливості виконувати прикладні дослідження взаємодії іонів низьких енергій з органічними матеріалами.

Встановлено, що при опроміненні іонами в результаті активації тепломасових процесів відбувається випаровування вологи із сировини та перебудова фізичної структури органічної речовини (рис. 18). Підвищення ефективності видалення вологи добре видно на лівому графіку. В присутності аероіонів (графік 2) темпи втрати маси майже вдвічі вищі, ніж при висушуванні такого ж зразка на тій же установці, але з виключеним генератором іонів (графік 1).

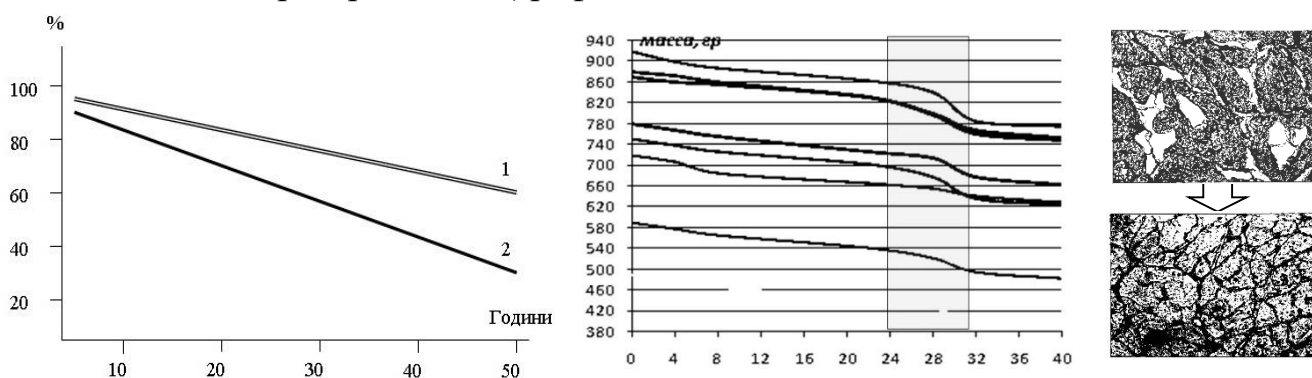


Рис. 18 Дослідження динаміки тепломасових процесів під дією аероіонів

Встановлено, що динаміка процесу залежить від концентрації іонів і складу сировини. Наприклад, лівий графік відображає практично лінійний процес видалення води з сировини з мінімальним вмістом жиру. Праві графіки отримані для множини зразків з різним вмістом ліпідів, різної маси і габаритів. У такій сировині процеси зневоднення нелінійні та суттєво залежать від вмісту ліпідів.

Дослідження показали, що на технологічний процес впливають зовнішні електричні поля – зростають темпи втрати маси. На правих графіках показано хід аероіонного висушування сировини з вмістом жиру 10-25% при періодичному прикладенні на зразки зовнішнього електричного поля (відтінена область графіків). Встановлено, що аероіони пригнічують активність мікрофлори. Для будь-якої харчової сировини підтверджено фізичне ущільнення структури матеріалу (рис. 18 справа). Завдяки ущільненню в сировині стимулюються природні процеси молекулярної перебудови (модифікація хімічного складу) і «визрівання» сировини до стану готового харчового продукту.

Встановлено, що іони низьких енергій дозволяють реалізувати оригінальні технології переробки сировини в різноманітні харчові продукти. В усіх розроблених іонних технологіях досягається висока ефективність – скорочуються терміни приготування, зменшується енергоспоживання, подовжуються терміни зберігання харчових продуктів (рис. 19, рис. 20).

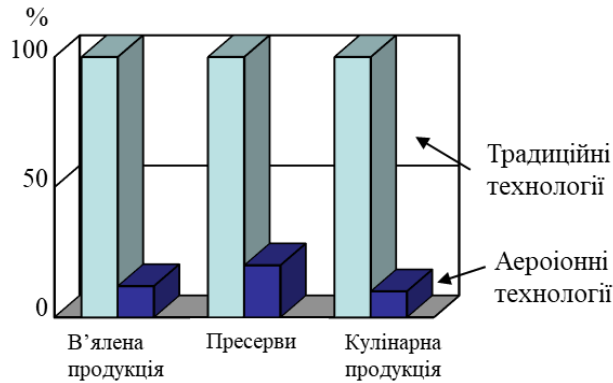


Рис. 19 Технологічна ефективність аероіонних технологій

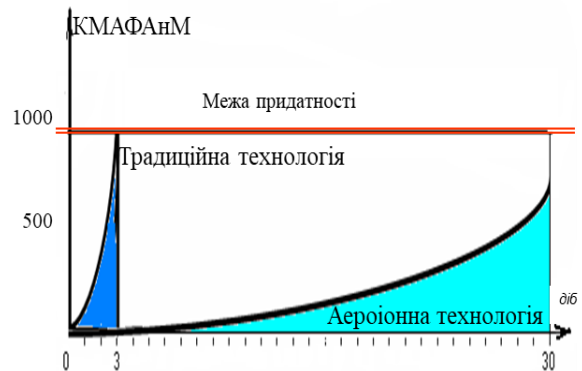


Рис. 20 Терміни зберігання харчових продуктів при $+4\pm 2$ °С

Встановлено, що під впливом аероіонів усі процеси модифікації сировини відбуваються інтенсивніше та при значно менших витратах енергії. Отримані результати дають підставу вважати перспективним шляхом подальшого розвитку радіаційних технологій розширення переліку заряджених частинок іонами атмосферних газів низьких енергій.

Завданням таких розробок є поширення іонних технологій на переробку вітчизняної харчової сировини, в першу чергу, прісноводних риб штучного розведення та прибережного вилову для уникнення залежності переробної галузі від кон'юнктурних коливань на світовому ринку. Нові технології дозволять різко зменшити залежність економіки України від імпорту сировини. Розробки здійснено на базі удосконаленого радіаційного комплексу спільними зусиллями вчених-фізиків ІЯД НАН України, магістрів, аспірантів та фахівців-технологів НУБіП МОН України.



Рис. 21 Зразки продукції, виготовлені за аероіонними технологіями

Розроблено та успішно випробувано методи залучення заряджених частинок низької енергії до модифікації прісноводної сировини.

Створено оригінальні технології якісних і безпечних харчових продуктів з місцевої сировини (рис. 21). Доведено, що з вітчизняної прісноводної риби можна виробляти якісну продукцію, що буде близькою за показниками до продукції з високоякісної морської сировини.

Доведено, що аероіонне обладнання можна вважати безпечним, енергоощадним і екологічним напрямком виробництва різноманітних видів харчових продуктів.

У **РОЗДІЛІ 6** представлено результати прикладних досліджень шляхів використання ядерної енергії в промислових технологіях для підвищення якості будівельних матеріалів, в першу чергу корозійної стійкості та довговічності бетону. Проблемою цього матеріалу є його пористість. Внаслідок цього в структуру бетону поступають агресивні компоненти атмосфери, що призводить до його руйнування, втрачається міцність, порушується цілісність конструкції. Вирішення проблеми є надзвичайно актуальною з огляду на великі витрати в усьому світі на ремонт бетонних конструкцій. У розвинутих країнах це сягає 40-42 % асигнувань на будівництво. В Україні така проблема розглядається як державно значима ще з початку 2000-х років (Доручення Прем'єр-міністра України від 25.12.01 за № 18825/52 та низка наступних Постанов).

В основу ідеї вирішення проблеми покладено заповнення внутрішніх мікропустот органічними сполуками, здатними з часом ущільнюватися. Ідея розробляється в різних країнах вже тривалий час. Доведено, що це один з дієвих методів покращення бетону. Спільним недоліком усіх таких методів є відірваність процесу гідрофобізації від технологічного процесу виготовлення бетону, тому ефект досягається лише на деякий час. Було поставлено завдання удосконалити цей напрямок радіаційних технологій шляхом всебічного дослідження технологічно і економічно прийнятних методів виробництва нових типів бетонів з покращеними показниками.

Розроблено методику радіаційно-хімічної модифікації матеріалу, яка не спотворює традиційних для бетону базових показників – вмісту кисню, алюмінію, кальцію, магнію. Енергію радіації використано для керування процесами хімічного поєднання (радіаційно-стимульованої зшивки) високомолекулярної органічної речовини (модифікатора) з мінеральними компонентами (основою) бетонної суміші. З цією метою було вибрано мегавольтні електрони як діючий радіаційний фактор модифікації зовнішніх оболонкових структур атомів в матеріалі та формування потоків ковалентних електронів – ініціаторів додаткових хімічних зв'язків між конкреціями бетонних сумішей до утворення суцільної монолітної структури.

Випробувано більше 200 рецептур мономерів на радіаційну чутливість. З них відібрано нетоксичні мономери та олігомери (силоксанові модифікатори) з мінімальною в'язкістю, які сумісні з іншими конкреціями бетону та здатні полімеризуватися під дією мегавольтних електронів в матеріалі. Очікувалось, що радіаційне зшивання силоксанів може відбуватися шляхом перетворення силілметильної групи з утворенням міжмолекулярних зв'язків $\equiv\text{SiCH}_2\text{Si}\equiv$ (1,8), $\equiv\text{SiCH}_2\text{CH}_2\text{Si}\equiv$ (0,5), $\equiv\text{Si-Si}\equiv$ (1,0), в дужках вказано їхній квантовий вихід при 25 °С. А це сприяло б зміцненню силіконового полімеру за рахунок додаткових поперечних зшивок і утворення жорсткої тривимірної полімерної сітки, яка заповнить пори бетону та буде хімічно поєднаною з мінеральними складовими в суцільний композитний матеріал.

Для випробування методики розроблено технологію виготовлення нового композиту на радіаційній установці ІЯД, яка об'єднує усі етапи виробництва такого РМПБ (рис. 22).

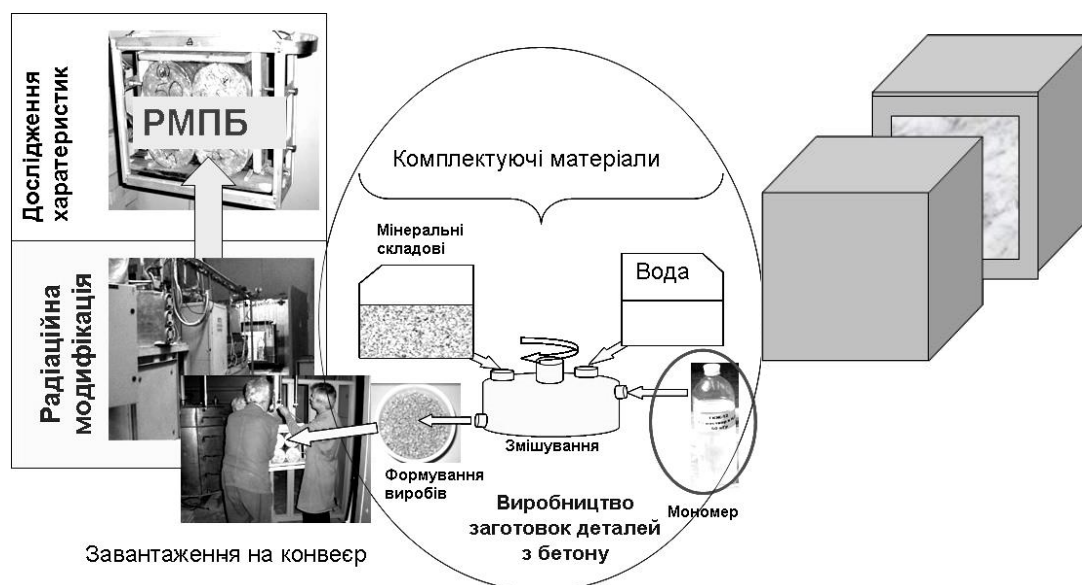


Рис. 22 Схема дослідження технології виготовлення РМПБ на радіаційній установці ІЯД

У новій технології модифікатор вноситься до складу суміші на етапі замішування розчину перед формуванням виробів. Після опромінення електронами утворюється суцільний зовнішній шар міцного монолітного водонепроникного матеріалу, що працює як додатковий каркас і покращує експлуатаційні характеристики виробів з РМПБ.

Результати досліджень властивостей РМПБ, проведені в Державному науково-дослідному інституті будівельних конструкцій (ДП НДІБК) показали, що розроблена радіаційна методика модифікації забезпечує отримання бетону з суттєво кращими технічними характеристиками, а саме: в 32 рази зменшується водопоглинання, на 34% зростає міцність на стискання, в 4 рази зростає водонепроникність, в 2 рази підвищується морозостійкість. Показники ефективності радіаційної методики покращення бетону наведено в узагальненій таблиці 1.

Таблиця 1

Показники ефективності радіаційної методики покращення бетону

Показник	Індекс	Звичайний бетон	РМПБ
Водопоглинання	%	1,6	0,05
Морозостійкість	F	F100	F100
Міцність	МПа	23	59
Марка водонепроникності	W	W2	W8

Для всіх показників бетону отримано позитивний ефект модифікації. Отримано більш щільний матеріал, що видно з результатів СЕМ (рис. 23) зразків РМПБ (зліва) та звичайного бетону (справа). Результати свідчать, що під дією електронів відбуваються не тільки процеси полімеризації/деструкції полімеру, але одночасно і хімічна активація поверхневих груп ($\equiv\text{SiOH}$; $-\text{CaOH}$), розташованих на стінках капілярів цементного каменю. У таких умовах ініціюються реакції хімічного прищеплення фрагментів силіконів до силікатної основи матеріалу, що добре узгоджується з теорією «легуючих добавок». Корисну інформацію для визначення

регулюючих параметрів надають графіки, побудовані за результатами досліджень РМПБ в ДП НДІБК.

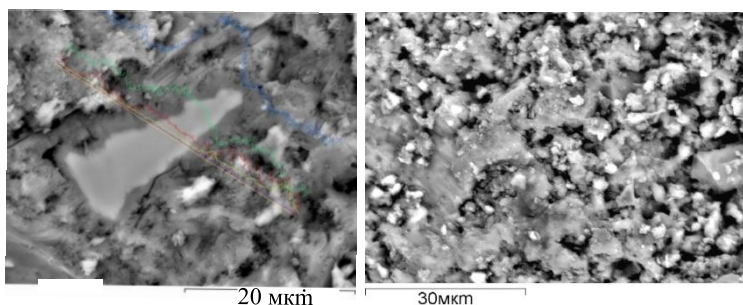


Рис. 23. Результати СЕМ зразків РМПБ

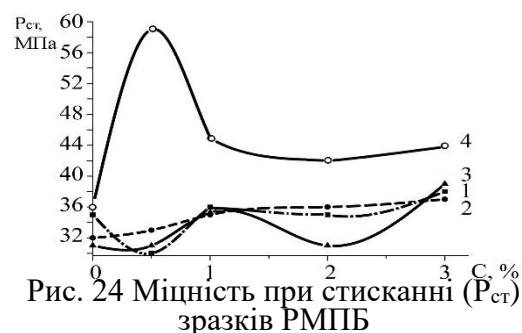


Рис. 24 Міцність при стисканні ($P_{ст}$) зразків РМПБ

На рис. 24 наведено результати досліджень межі міцності при стиску ($P_{ст}$) зразків РМПБ, насичених силосаном в залежності від його концентрації (С) в суміші та дози опромінення, кГр: 1 – 25, 2 – 50, 3 – 100, 4 – 200.

Екстремум при 0,5 % вмісту мономера (С) у бетонній суміші при отриманій дозі $D=200$ кГр відповідає оптимальному ступеню полімеризації полімеру. Можна припустити, що при дозі в 200 кГр відбувається не лише співполімеризація мономерів, але і активна радіаційна деструкція полімерних ланцюгів, при одночасній хімічній активації поверхневих груп ($\equiv SiOH$; $-CaOH$) розташованих на стінках капілярів цементного каменю. За рахунок цього, за радіаційно-іонним механізмом відбувається хімічне приєднання (прищеплення) фрагментів силіконів до силікатної основи.

Розроблена технологія надає можливості вибором усього двох показників (вмісту олігомера в межах 0,1-3%, та поглинутої дози в межах 50-200кГр) отримувати композитні бетони з різними властивостями у відповідності з метою застосування і умовами експлуатації.

В результаті проведених досліджень з використанням енергії мегавольтних електронів було розроблено оригінальний композитний матеріал (РМПБ) – щільний, водонепроникний бетон, стійкий до вологи й агресивних речовин та екологічно безпечну технологію його виготовлення, що може бути використано для бетонних виробів тривалої експлуатації на об'єктах з підвищеною вологістю. При даних радіаційних технологіях зростає міцність бетону, практично повністю виключається водопоглинання, матеріал є хімічно нейтральним і витримує тривалу дію кислот і лугів навіть при високих температурах. Встановлено, що кип'ятіння РМПБ в розчині сірчаної кислоти впродовж 1-2 годин практично не впливає на його характеристики. Оригінальною особливістю нової технології є можливість отримувати бетони з необхідними функціональними властивостями підбором рецептури модифікатору, його вмістом, режимом радіаційної обробки.

В обсязі комплексної міжгалузевої програми, виконаної на базі радіаційного комплексу ІЯД НАН України, отримано нові наукові результати:

1. Розроблено і випробувано радіаційні методи модифікації бетонів олігомерами з метою гідрофобізації та зміцнення. Визначено межі поглинутих доз радіаційної обробки електронами (50 – 200 кГр), оптимальні для отримання керованого процесу модифікації.

2. Вивчено закономірності радіаційно-хімічної пришивки силіконових органічних модифікаторів до компонентів цементного каменю та мінеральних конкрецій бетону.

3. Досліджено фізико-механічні властивості модифікованого бетону.

Створено методики гідрофобізації готових промислових цементних виробів. Раніше дослідження цих технологій були неможливими через відсутність в Україні досвіду та промислової техніки для їх виконання. В основу даних досліджень покладено описане вище успішне використання радіації для утворення органо-мінеральних цементуючих систем. З їх урахуванням розроблено інноваційні радіаційні технології, в яких енергія випромінювання використовується для ущільнення матеріалу в готових промислових виробах з метою підвищення стійкості до вологи, обростання та кліматичних впливів.

В технологічному процесі, розробленому для модифікації готових виробів матеріал насичується силосановим розчином поза межами лінії виробництва виробів, аж перед його опроміненням. Це забезпечує простоту впровадження нової технології (рис. 25). Після насичення силосанами вироби подають на опромінення. Після опромінення вироби готові до використання негайно. Якість процесу контролюється методом крапель, за показником крайового кута змочування поверхні, що є дотичними до міжфазних поверхонь при розмежуванні трьох фаз (твердої, газоподібної, рідкої) і є найбільш зручним для оперативної оцінки якості процесу гідрофобізації.



Рис. 25. Технологія гідрофобізації промислових цементних виробів.

Фото на рис. 25 свідчить про високий ступінь гідрофобізації, досягнутий радіаційно-хімічною зшивкою органосилосану з мінеральними складовими. Встановлено, що крайовий кут змочування модифікованого матеріалу даного цементного виробу близький до максимально можливого 120° . Встановлено, що через 10 хв. витримки крапля не розтікається і не проникає в середину матеріалу, на відміну від контрольного зразка, який всмоктує моментально. Це свідчення того, що досягнуто мету дослідження – забезпечено морозостійкість промислових цементних виробів шляхом усунення першопричини їх руйнування.

Доведено, що підвищення морозостійкості успішно досягається і шляхом радіаційно-хімічного ущільнення (гідрофобізації) мегавольтними електронами лише

приповерхневих шарів виробу. Вода неспроможна проникнути в матеріал виробу, а тому проблеми її руйнування при замерзанні подолано.

Отримані результати сприяли подальшому прогресу радіаційних технологій модифікації в напрямку створення нових оригінальних твердих композитних покрівельних матеріалів, стійких до несприятливих експлуатаційних факторів. Об'єктом модифікації вибрано азбоцементний шифер, виробництво якого припиняють через екологічні проблеми, внаслідок чого в галузі ліквідовуються робочі місця, а з ринку зникає дешевий і доступний будівельний матеріал. Його заміна стає актуальною.

Ідея створення матеріалу, позбавленого недоліків традиційного шиферу, – введення до його складу додаткових компонентів для усунення недоліків і створення на його основі нового композитного матеріалу. Тут головною проблемою є досягнення надійного хімічного з'єднання усіх складових нової композиції у щільний і монолітний гідрофобний покрівельний матеріал. Для досягнення мети отримання монолітного і хімічно нейтрального матеріалу залучено електрофізичні радіаційно-хімічні технології модифікації мегавольтними електронами. Ставилось завдання здійснити міцну радіаційно-хімічну зшивку компонентів основи (азбоцементу) і модифікатора (силоксану) через утворення зв'язків С-С (близько 349 кДж/моль) та С-Н (414 кДж/моль). Експериментально було встановлено, що мегавольті електрони збуджують хімічно активні центри на поверхнях конкрецій і сприяють отриманню бажаних комбінацій полімерів і матеріалів на будь-яких основах. Очікувалось отримання монолітної гідрофобної структури усього об'єму основи, непроникної для вологи і здатної пружно сприймати механічні навантаження. Такі можливості було виявлено в дослідженнях радіаційних технологій композитних органо-мінеральних цементуючих систем.

З цих міркувань була розроблена радіаційна технологія нового гідрофобного композиційного матеріалу на основі азбоцементного шиферу, придатна для модифікації будь-яких виробів з цементу. В даному випадку метою було зв'язати азбестові волокна з іншими конкреціями в монолітну структуру будівельного матеріалу. Таку технологію реалізовано на радіаційній установці ІЯД і отримано партію нового композиту. Дослідження досягнутої гідрофобності нового матеріалу ілюструються рис. 26. Гідрофобність композиту має значно вищі якісні показники, ніж азбоцементний шифер.

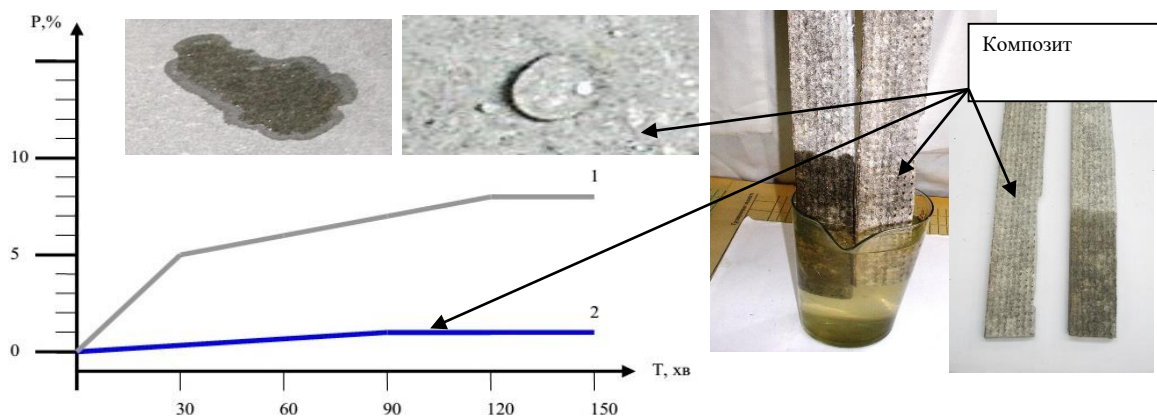


Рис. 26 Дослідження гідрофобності композиту

Другим завданням було покращення фізико-механічних характеристик композитного матеріалу. Результат дослідження цих параметрів показано на рис. 27.

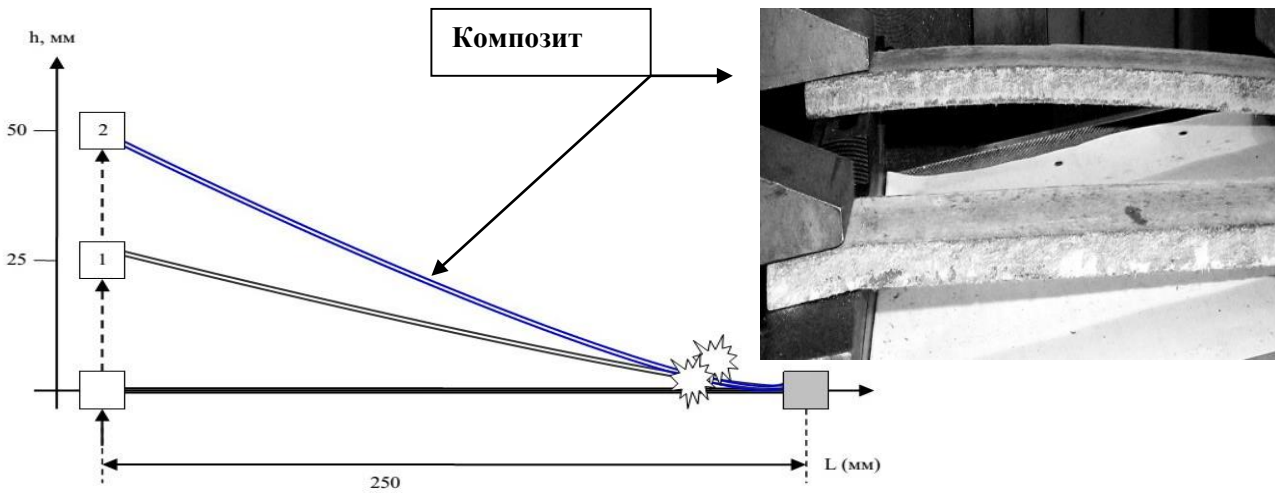


Рис. 27 Дослідження фізико-механічних характеристик композиту

Підтверджено зростання стійкості до злому – матеріал досить пружно сприймає навантаження. Проведений цикл досліджень довів, що радіаційна модифікація пористих азбоцементних матеріалів сучасними олігомерами є перспективним напрямком виробництва нового високоякісного покрівельного водостійкого матеріалу.

З метою розвитку прикладних досліджень напрямку гідрофобізації пористих будівельних матеріалів випробувано можливості здійснення радіаційної технології гідрофобізації конструкційних матеріалів з дерева. Розроблено методи радіаційної модифікації мегавольтними електронами дерев'яних виробів з метою покращення їх технологічних і експлуатаційних характеристик (стійкості до дії води, підвищення міцності, естетичного вигляду тощо). Вперше здійснено радіаційно-хімічну гідрофобізацію поширеної будівельної фанери, яка має лише один, але фатальний недолік – не придатна для вологих умов експлуатації. Встановлено, що таким методом можна модифікувати як сировину, так і будь-які вироби з дерева.

Процес складається з введення до фанери розчину олігомерів та подальшого опромінення електронами впродовж 100-150 с. В результаті утворюється оригінальний міцний гідрофобний конструкційний матеріал, естетичний і стійкий до кліматичних впливів.

Модифікована фанера має підвищені фізико-механічні властивості та не руйнується навіть при повному зануренні у воду. Радіаційно-хімічна модифікація в 16 разів підвищує стійкість фанери до поглинання води (рис. 28), зростає міцність матеріалу (рис. 29), покращується зовнішній вигляд. Отриманий новий композитний матеріал не має аналогів у виробництві та є перспективним для використання у будівельній індустрії

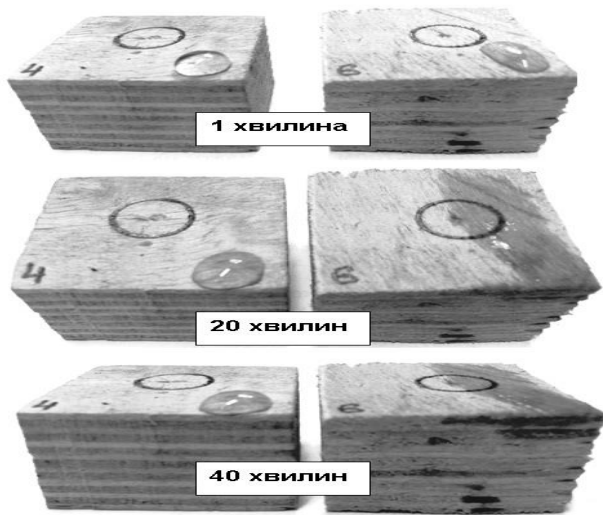


Рис.28 Випробування методом крапель

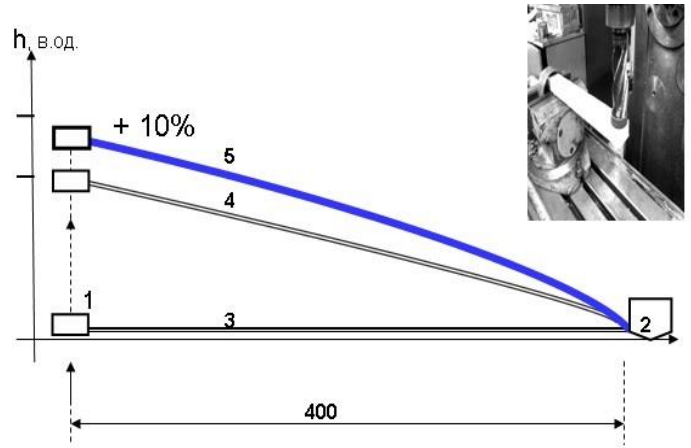


Рис 29 Дослідження механічних властивостей модифікату фанери

Вироби з радіаційно модифікованої деревини можуть скласти конкуренцію традиційним матеріалам при подальшому застосуванні полімерних матеріалів в будівництві і оздобленні житла, оскільки вони стійкі до кліматичних змін, міцніші, мають естетичний вигляд і не створюють проблем утилізації.

Досліджено можливості використання енергії випромінювань для виробництва термостійкого асфальту підвищеної міцності. Розроблено і випробувано можливість радіаційно-хімічної модифікації асфальтобетону мономерами акрилової групи. Вперше було отримано щільний і гідрофобний матеріал для покриття доріг, придатний до застосування в широкому діапазоні температур.

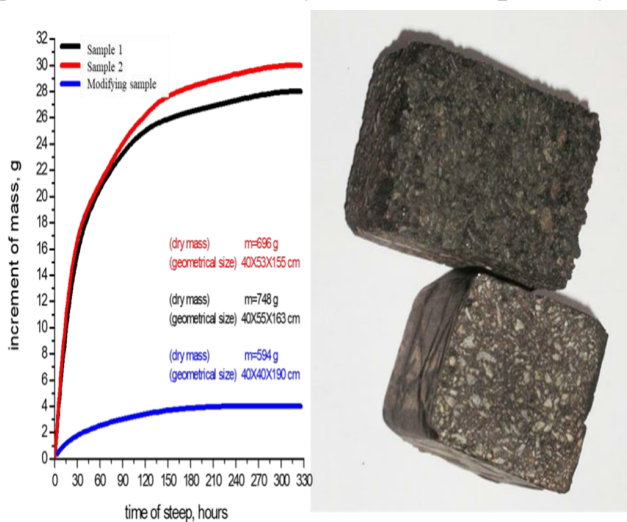


Рис. 30. Водопоглинання звичайного асфальту (верхні графіки і радіаційно-модифікованого відходома фібро матеріалів і акриловими мономерами (нижній графік)

На рис. 30 наведено результати досліджень водопоглинання звичайного (верхній зразок) асфальтобетону та модифікованого (нижній зразок) відходами фіброматеріалів та акриловими мономерами шляхом опромінення електронами. Верхні графіки – зразки двох марок поширеного промислового асфальту, на нижньому – радіаційно-модифікований. Високі показники модифікату є результатом ініційованих електронами процесів радіаційно-хімічного зшивання бітуму з мінеральними складовими (міцність), додаткової об'ємної полімеризації органічного зв'язуючого (морозостійкість).

Використання хімічно активних акрилових мономерів забезпечує підвищену адгезію модифікату до усіх будівельних матеріалів (щільність і мінімальне водопоглинання). Технологічні особливості – опромінення повинно здійснюватися

при укладці асфальту в полотно дороги. Це створює проблеми його швидкого впровадження.

Альтернативою є розробка технології отримання термостійкого асфальту без застосування мономерів. Вперше досліджено технологію виготовлення асфальту шляхом попередньої радіаційної модифікації бітуму гранульованими полімерними відходами (вторинними полімерами) і подальше виготовлення асфальтної суміші з такою бітум-полімерною композицією. Проблемою реалізації цієї технології є хімічна нейтральність вторинних полімерів, не здатних утворювати з бітумом монолітну масу модифікату. Але її вирішення дозволяє використати величезні маси відпрацьованих полімерних виробів для покращення якості доріг, а саме запропоновано винести за межі виробництва асфальту і залучати лише для генерування на поверхні гранул вторинних полімерів хімічно-активних центрів за механізмами радіаційно-стимульованої деструкції. Експериментально встановлено, що електрони та аероіони здатні збільшити хімічну активність поверхні полімерів, їх адгезію та спорідненість з бітумом для подальшого формування термостійких і міцних композицій дорожнього

покриття. На рис. 31 показано технологічну схему, що є розробленою та випробуваною для виробництва дорожнього покриття, модифікованого радіаційно-стимульованою композицією бітуму з гранульованими вторинними полімерами.

Запропонований варіант радіаційної технології дозволяє отримувати матеріал, що практично не поступається попередньому і досягається при мінімальних додаткових витратах, є екологічно безпечним, не вимагає доукомплектування діючих підприємств-виробників та одночасно вирішує дві актуальні

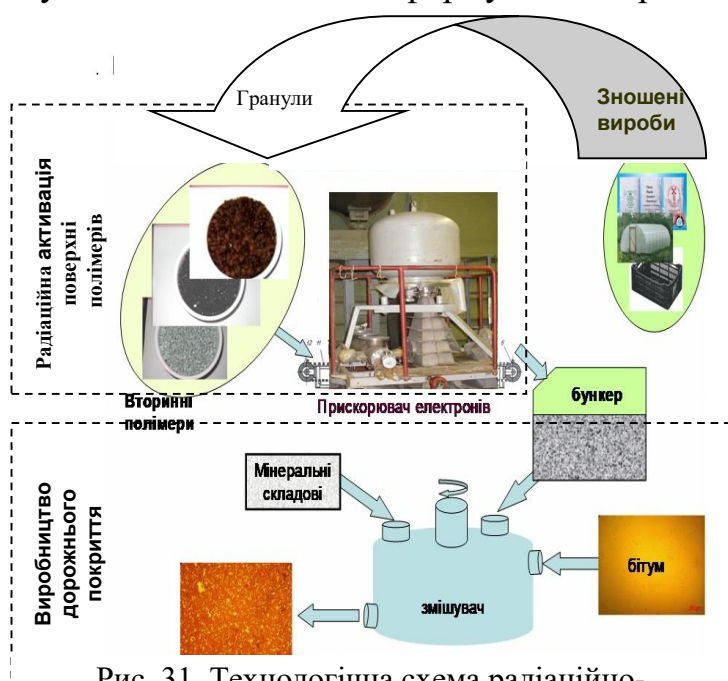


Рис. 31. Технологічна схема радіаційно-модифікованого бітуму

проблеми – утилізація вторинної сировини та створення міцного дорожнього матеріалу.

ПРАКТИЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ ДИСЕРТАЦІЇ:

Вирішено науково-технічну проблему використання іонізуючих випромінювань та модернізації ядерно-фізичних установок ІЯД НАН України для створення наукових основ розвитку новітніх радіаційних технологій в різних галузях промисловості.

1. Досліджено і визначено перспективні напрямки використання ядерної енергії для технологічного розвитку. Такими є:

- виробництво покращених матеріалів для будівельної індустрії;
- виробництво продуктів харчування;
- знешкодження патогенної мікрофлори;

- функціональні випробування і сертифікація техніки об'єктів критичної інфраструктури шляхом імітації комплексних факторів дії ядерної енергії;
- підвищення ефективності медичних матеріалів;
- створення високоефективних технологій промислового виробництва з залученням заряджених частинок низької та наднизької енергії.

2. Розроблено шляхи удосконалення дослідницької електрофізичної радіаційної техніки ІЯД НАНУ з метою використання в прикладних дослідженнях. В їх переліку:

- установка для досліджень з інтенсивними пучками електронів низьких енергій;
- установки з генераторами іонів низької та наднизької енергії для досліджень методів застосування енергії заряджених частинок до реального виробництва;
- модернізація діючої техніки з метою розширення діапазону і спектру генерованих випромінювань.

3. Розроблено та експериментально доведено ефективність багатоцільових технічних комплексів імітації діючих факторів ядерної енергії як перспективного шляху вирішення актуальних завдань економічного розвитку з залученням унікальних науково-дослідних установок і радіаційної техніки ІЯД НАН України.

4. Створено низку спеціальних технічних засобів для адаптації радіаційних установок ІЯД для прикладних досліджень і розробок, в тому числі придатних до експлуатації в інтенсивних радіаційних полях. До них належать:

- багатофункціональна транспортна система з прецизійними характеристиками для подачі, переміщення та маніпуляції зразків в зону радіаційної обробки;
- електропровідні з дистанційним керуванням підпучкові засоби механізації і автоматизації експериментів;
- оригінальні засоби радіаційних вимірювань інтенсивних змішаних радіаційних полів та удосконалена система технологічної дозиметрії;
- засоби і системи внутрішнього протирадіаційного захисту;
- засоби і спектрометрична техніка для вимірювань параметрів потоків іонів низьких енергій;
- засоби та прилади технологічного контролю за результатами опромінювання матеріалів.

5. Розроблено:

- методи прикладного використання радіаційної техніки ІЯД для завдань сучасної промисловості та іонні інноваційні радіаційні технології виробництва харчових продуктів, що не мають аналогів у світі;
- технології органо-мінеральних радіаційно-модифікованих цементуючих систем та радіаційно-модифікованого полімер-бетону;
- радіаційні технології покращення експлуатаційних характеристик пористих матеріалів;
- новий оригінальний гідрофобний покрівельний матеріал для будівельної індустрії;
- радіаційні технології підвищення ефективності медичних розчинів;

- радіаційні технології функціональних випробувань обладнання, критичного для експлуатації АЕС.

6. Розроблено проекти інноваційних технологій з використанням ядерної енергії для різних галузей промисловості.

ВИСНОВКИ

1. Визначено перелік і встановлено вимоги до фізичних параметрів, які необхідно забезпечити за допомогою технічних засобів на сучасному етапі розвитку радіаційних технологій. Для фізичних досліджень – випромінювання e^- , γ , W_e -const. з мінімальною шириною енергетичного спектру та з максимально можливим діапазоном регулювання інтенсивності. Для прикладних досліджень – випромінювання e^- , γ , α , n , e ($W < 10 \text{ MeV}$) з обмеженим діапазоном регулювання інтенсивності відкриває можливості отримання потоків радіації великого перерізу.
2. Досліджено методи використання енергії випромінювань для вирішення екологічних проблем. Встановлено необхідність удосконалення підпучкової техніки реакційної камери експериментальної установки. З цією метою створено додаткові засоби механізації та автоматизації експериментів. Їх призначення – дистанційна маніпуляція зразками різних промислових відходів і матеріалів, переміщення датчиків радіаційних і технічних параметрів, у тому числі в процесі опромінювання.
3. Вивчено можливості удосконалення радіаційної техніки до потреб будівельної індустрії. Встановлено, що необхідно опромінювати габаритні важкі матеріали та вироби. З цією метою для установки створено оригінальну прецизійну технологічну лінію з операційним конвеєром, яка складається з механічних і електронних елементів, засобів захисту, контролю переміщення, індикаторів стану, логіки керування, засобів місцевого та централізованого управління через канали зв'язку з пультом установки. Модернізація забезпечує високу стабільність переміщення матеріалу та стабільність поглинутої дози опромінювання та можливість маніпуляції дослідними зразками, в тому числі під пучком.
4. Досліджено проблеми формування радіаційних полів великого перерізу, необхідних для подальшого прогресу функціональних випробувань і сертифікації критичного обладнання в ядерній енергетиці. Встановлено, що основною проблемою таких технологічних процесів є отримання рівномірних радіаційних полів (чистих та змішаних) великих розмірів, для розміщення там габаритних зразків чи обладнання і забезпечення рівномірного розподілу поглинутої енергії електронів по об'єму опромінюваного об'єкту, що можна вирішувати шляхом трансформації емітансу виведеного пучка електронів системою розсіювальних і відбиваючих екранів.
5. Експериментально досліджено ефективність трансформації емітансу, специфіку роботи елементів системи, їх можливі конструкції, розроблено оперативні методики розрахунків та технічні засоби контролю. Така система трансформації надала можливість сформувати «чисте» радіаційне поле електронів з нерівномірністю менше 15% і об'ємом $0,8 \text{ м} \times 0,8 \text{ м} \times 0,8 \text{ м}$ та змішане гама-електронне поле з нерівномірністю менше 20%. Створена система дозволяє формувати радіаційні поля у великих об'ємах до 1 м^3 , в тому числі «чистих» полів

з мегавольтних електронів, а з використанням гальмівних мішеней – полів фотонів гальмівного випромінювання.

6. Модернізовано радіаційну установку ІЯД НАН України та отримано можливість проведення кваліфікаційних випробувань елементів ядерних енергоустановок, габаритними розмірами до 0,8 м×0,8 м×0,8 м (типу М76341) систем аварійного газовідведення та захисту. Описано проведену модернізацію радіаційної техніки для цільових програм використання ядерної енергії.
7. Встановлено, що в конфігурації радіаційної установки відсутні технічні можливості досліджень взаємодії радіації з промисловими матеріалами і виробами в діапазоні енергій 0,1-0,5 МеВ. Створено додаткове інтенсивне джерело електронів енергією 0,4-0,5МеВ. Вибрано варіант використання прискорювача електронів прямої дії 0,5 МеВ/20-30 кВт, який складається з джерела високої напруги 500 кВ, генератора-інжектора електронів, блоку прискорення, системи випуску пучка в атмосферу через титанову фольгу 20 мкм. Вузли установки охоплено системою управління через центральний пульт. Основні елементи нової установки змонтовано в спеціально підготовлених приміщеннях, в тому числі з протирадіаційним захистом, для розташування прискорювача та створено технічний комплекс для прикладних досліджень з електронами та фотонами пікометрового діапазону електромагнітних хвиль.
8. Встановлено, що перспективним для подовження термінів зберігання харчових продуктів є використання потоків аероіонів, іонів газів атмосфери невисокої енергії до 50 кеВ з концентраціями понад 10^7 іон/см³. Розроблено електрофізичну експериментальну установку, здатну опромінювати матеріали, сировину та харчові продукти іонами відносно невисоких енергій. Встановлено перелік матеріалів, здатних до модифікації іонами їх фізичної структури та хімічного складу – органічні матеріали штучного (полімери) і природного (харчова сировина) походження. Розроблено низку прискорених енергоефективних харчових технологій в'ялення риби.
9. Досліджено процеси генерації аероіонів в робочих камерах іонних електрофізичних установок. Встановлено особливості динаміки їх прискорення та формування направлених потоків аероіонів. Експериментально підтверджено, що конструювання іонних генераторів на принципах прискорювачів заряджених частинок прямої дії є дієвим методом отримання концентрованих потоків аероіонів.
10. Встановлено, що при опроміненні іонами, в результаті активації тепломасових процесів, відбувається інтенсивне видалення вологи із сировини та перебудова фізичної структури органічної речовини. В присутності аероіонів темпи втрати маси майже вдвічі вищі, ніж при висушуванні такого ж зразка на тій же установці, але з виключеним генератором іонів. Встановлено, що динаміка процесу залежить від концентрації іонів і складу сировини. Процеси зневоднення нелінійні та суттєво залежать від вмісту ліпідів у харчовій сировині. В аероіонних технологіях досягається висока ефективність – скорочуються терміни приготування, зменшується енергоспоживання, подовжуються терміни зберігання харчових продуктів.

11. Випробувано нові методики радіаційних технологій для дослідження функціональності критичного обладнання АЕС, технології наноматеріалів для промисловості та медицини, можливості ядерних і радіаційних методів в технологіях матеріалів для промисловості та інші перспективні методи промислового використання ядерної енергії, що ґрунтуються на ефектах дії на зовнішні оболонкові структури атомів з метою керування радикальним механізмом модифікації матеріалів.
12. Розроблено імітатори як перспективний напрямок прикладних досліджень з використанням ядерної енергії. Розроблено варіант імітатора на одному електрофізичному джерелі випромінювання. При утворенні цього імітатора розширено діапазон регулювання інтенсивності пучка, створено засоби конверсії енергії електронів у інші види випромінювань, засоби формування конфігурації і складу радіаційних полів (чистих та змішаних), розроблено засоби забезпечення життєдіяльності дослідних біологічних об'єктів, засоби метрології експериментальних робіт, необхідні засоби місцевого протирадіаційного захисту тощо. Проведено дослідження характеристик і можливостей імітатора. Вперше здійснено оригінальну методику передачі енергії випромінювання до віддалених об'єктів через проміжні реакції з гідролізатами для лікування складних радіаційно-термічних опікових ран.
13. Досліджено ефективність імітатора складної структури для технологічних умов виробництва термостійких ядерних фільтрів, утвореного на базі двох електрофізичних установок – 120-сантиметрового дейтронного циклотрона 12 МеВ та лінійного прискорювача електронів 4 МеВ. Встановлено, що така структура імітатора забезпечує можливість розробки та випробування технологій з використанням легких іонів та фотонів мегавольтних енергій.
14. Досліджено оригінальну трекову технологію термостійких ядерних фільтрів (мембран) підвищеної міцності та інших нанопористих полімерних матеріалів для різних галузей виробництва, яка дозволяє отримувати міцні мембрани завтовшки до 100 мкм, що є недоступними традиційним технологіям.
15. Досліджено й експериментально випробувано шляхи залучення інших діючих ядерно-фізичних установок до функціонального випробування та сертифікації, критичного обладнання АЕС. Встановлено, що це забезпечить підвищення точності експертних висновків і урахування функціональності комплектуючих матеріалів.
16. Досліджено можливості радіаційних технологій для харчової галузі. Встановлено, що пікохвильова обробка, а саме опромінення гама-променями до 5 МеВ або електронами до 10 МеВ, повністю знищує всю мікрофлору, тобто виключає мікробіологічне псування харчових продуктів при зберіганні та необхідність застосування синтетичних консервантів, і є енергоощадною й прискореною альтернативою теплової чи хімічній стерилізації.
17. Експериментально встановлено, що в харчових пікохвильових технологіях енергію електронів 4 МеВ доцільно вважати граничною. При опроміненні електронами повинна бути обмежена потужність дози на рівні 0,02 кГр/с. Встановлено, що в такому режимі електронної обробки поглинутими дозами 2-3 кГр найбільш виразно проявляється іонізаційний механізм знешкодження

мікрофлори та селективність дії радіації на мікроорганізми та не змінюється біологічна цінність харчового продукту, тобто такий режим опромінювання не впливає на температуру продукту і не відбуваються небажані зміни його хімічного складу.

18. Експериментально доведено високу економічність пікохвильової обробки харчових продуктів потоками електронів з енергіями 2-4 МеВ – енерговитрати процесу складають 10 Вт·кг продукції.
19. Встановлено, що вирішальним супутнім фактором опромінення харчових продуктів є радіоліз води, що входить до їх складу, тому режим опромінювання повинен враховувати динаміку процесів радіолізу, які не становлять ніяких токсичних проблем, але можуть впливати на фізичні властивості (колір, щільність, запах) та смакові показники продуктів («електронний» присмак).
20. Для пікохвильової технології морської нерибної сировини з неоднорідною структурою м'язових тканин визначено оптимальні методи використання мегавольтних електронів системою розсіювачів і рефлекторів з фокусом на приповерхневих шарах, де розміщені максимальні об'єми твердих включень. Це може бути використано і для модифікації структури сировини при виробництві сурімі та іншої багатокомпонентної харчової продукції з комбінованої сировини (рулети), пресерви з важко визріваючої прісноводної риби.
21. Розроблено методику радіаційно-хімічної модифікації бетону, яка не спотворює традиційних для нього базових показників – вмісту кисню, алюмінію, кальцію, магнію. Енергію радіації використано для керування процесами хімічного поєднання високомолекулярної органічної речовини з мінеральними компонентами бетонної суміші шляхом модифікації мегавольтними електронами з метою формування потоків ковалентних електронів і утворення суцільної монолітної структури бетону. Радіаційна методика модифікації забезпечує отримання бетону з суттєво кращими технічними характеристиками, а саме: в 32 рази зменшується водопоглинання, на 34% зростає міцність на стискання, в 4 рази зростає водонепроникність, в 2 рази підвищується морозостійкість.
22. Розроблено методи радіаційної модифікації виробів з дерева шляхом введення розчину олігомерів та подальшого опромінення електронами вдовж 100-150 с. Радіаційно-хімічна модифікація в 16 разів підвищує стійкість деревини до поглинання води, зростає міцність матеріалу, покращується зовнішній вигляд.
23. Досліджено можливості використання енергії випромінювань для виробництва термостійкого асфальту підвищеної міцності. Розроблено і випробувано можливість радіаційно-хімічної модифікації асфальтобетону мономерами акрилової групи. Вперше отримано щільний і гідрофобний матеріал для покриття доріг, придатний до застосування в діапазоні перепаду температур -30...+50°C.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Монографія

1. Вишневецький І.М., Гайдар Г.П., Коваленко О.В., **Ковалінська Т.В.**, Коломієць М.Ф., Липська А.І., Литовченко П.Г., Сахно В.І., Шевель В.М. Радіаційні та ядерні технології в Інституті ядерних досліджень НАН України : монографія. Київ : Ін-т ядерних досліджень, 2014. 176 с.

Статті у наукових фахових виданнях

2. Зелінський А.Г., Желтоножский В.А., Сахно В.И., Ковалинская Т.В., Халова Н.В. Применение технологического ускорителя электронов для ядерных исследований. *Ядерна фізика та енергетика*. 2011. Т.12. №3. С. 311–315.

3. Ковалінська Т.В., Остапенко І.А., Сахно В.І., Зелінський А.Г. Шляхи вдосконалення радіаційної техніки для кваліфікації обладнання АЕС. *Ядерна фізика та енергетика*. 2013. Т.14. №1. С. 91–96.

4. Ahmedzade P., Fainleib A., Günay T., Starostenko O., Kovalinska T. Effect of Gamma Irradiated Recycled Low Density Polyethylene on the High and Low Temperature Properties of Bitumen. *International Journal of Polymer Science*. 2013. vol. 2013. 07/2013. Article ID 141298. P. 9.

5. Ковалінська Т.В. Електромеханічний прилад для контролю конфігурації пучка електронів потужного промислового прискорювача радіаційної установки. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія фізика*. 2014. №35. С. 131–135.

6. Остапенко І.А., Ковалінська Т.В., Сахно В.І. Проект удосконаленого дослідницького радіаційного комплексу ІЯД НАН України. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія фізика*. 2014. №35. С. 167–171.

7. Ковалінська Т.В. Радіаційні технології в різних галузях економіки. *Вісник НАНУ. Розробки Інституту ядерних досліджень НАН України*. 2014. №12. С. 64–69.

8. Kovalinska T.V., Zelinskyi A.G., Sakhno V.I., Fainleib O.M., Kolesnik D.Yu., Sheinich L.O. Physical and technological basics and new generation technologie of radiation-modified polymer concrete. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія фізика*. 2015. №37. С. 116–122.

9. Остапенко І.А., Ковалінська Т.В., Сахно В.І. Характеристики лічильника СИ5007 в оберненому включенні. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія фізика*. 2015. №38. С. 141–148.

10. Михнева Е.Г., Ковалинская Т.В., Сахно В.И. Радиационные технологии переработки моллюсков. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія фізика*. 2015. №38. С. 171–177.

11. Ковалінська Т.В., Остапенко І.А., Сахно В.І. Технологія рівномірного електронного опромінення промислових виробів великих габаритів. *Ядерна фізика та енергетика*. 2016. Т. 17. № 2. С. 199–203.

12. Ковалінська Т.В., Сахно В.І., Іванов Ю.В., Міхнева Є.Г., Зелінський А.Г. Радіаційна технологія гідрофобізації будівельних матеріалів. *Ядерна фізика та енергетика*. 2016. Т. 17. № 4. С. 418–424.

13. Ковалінська Т.В., Сахно В.І., Іванов Ю.В. Експлуатація промислового прискорювача електронів при мінімальній інтенсивності пучка. *Ядерна фізика та енергетика*. 2018. Т. 19. № 3. С. 293–298.

14. Борзаковський А.Є., Ковалінська Т.В., Сахно В.І., Хомич І.А. Удосконалення технології виготовлення треківих мембран. *Ядерна фізика та енергетика*. 2018. Т. 19. № 4. С. 400–405.

15. Ковалінська Т.В., Жернов О.А., Сахно В.І., Маєвська Т.М., Іванов Ю.В., Ніколаєв В.Г., Сахно Л.О., Шлапацька В.В. Дослідження можливостей застосування продуктів радіолізу води в медичних цілях. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія фізика*. 2018. Том 43. С.137-146.

16. Ковалінська Т.В., Сахно В.І. Електрофізичний імітатор ушкоджуючих факторів ядерної енергії. *Ядерна фізика та енергетика*. 2019. Т. 20. № 1. С. 84–89.

17. Хомич І.А., Ковалінська Т.В., Сахно В.І. Радіаційні проблеми функціональних

випробувань обладнання АЕС на електрофізичній установці ІЯД НАН України. *Національний вісник Ужгородського університету. Серія Фізика*. 2019. №45. С. 61–72.

18. **Ковалінська Т.В.**, Борзаковський А.Є., Сахно В.І., Файнлейб О.М., Григор'єва О.П., Старостенко О.М., Гусакова К.Г., F. Gouanve, E. Espuche, D. Grande. Дослідження перспектив створення трекових мембран з поліціануратів на радіаційному комплексі ІЯД НАН України. *Полімерний журнал*. 2019. №3. С. 159–166.

19. Хомич І.А., **Ковалінська Т.В.**, Сахно В.І., Іванов Ю.В. Проблеми та засоби формування радіаційних полів для функціональних випробувань і кваліфікації електротехнічного обладнання АЕС. *Ядерна фізика та енергетика*. 2019. Т. 20. № 4. С. 420–427.

20. **Ковалінська Т.В.**, Хомич І.А., Сахно В.І., Іванов Ю.В., Мельниченко О.В., Шлапацька В.В. Радіаційні функціональні дослідження тонких полімерних плівок для кваліфікації на використання в критичному обладнанні ядерних об'єктів. *Національний вісник Ужгородського університету. Серія Фізика*. 2020. №47. С. 63–73.

21. Хомич І.А., **Ковалінська Т.В.**, Сахно В.І., Іванов Ю.В. Ефективність та перспективи реалізації заходів кваліфікації обладнання, важливого для безпеки у вітчизняній ядерній енергетиці. *Ядерна фізика та енергетика*. 2020. Т.21. №4. С. 369–376.

22. **Ковалінська Т.В.**, Сахно В.І., Іванов Ю.В., Шлапацька В.В., Мельниченко О.В., Файнлейб А.М., Григор'єва О.П., Старостенко О.М., Grande D. Функціональні випробування полімерних плівок щільними електронними пучками. *Полімерний журнал*. 2020. №4. С. 254–261.

23. Grigoryeva O., Fainleib A., Starostenko O., Gusakova K., Sakhno V., Borzakovskiy A., **Kovalinska T.**, Youssef B., Gouanve F., Espuche E., Grande D. Thermally Stable Nanoporous Cyanate Ester Resin/Linear Polyurethane Hybrid Networks Created by Nuclear Technologies. *Polymer*. 2021. 123831

Патенти

24. Полімербітумна композиція: пат. 107760 Україна. № 201313780; заявл. 27.11.2013; опубл. 10.02.15, Бюл. № 3. 5 с.

25. Полімербітумна композиція: пат. №108432 Україна. № 201313781; заявл. 27.11.2013; опубл. 27.04.15, Бюл. № 8. 5 с.

26. Полімербітумна композиція: пат. №108433 Україна. № 201313782; заявл. 27.11.2013; опубл. 27.04.15, Бюл. № 8. 6 с.

27. Полімербітумна композиція пат. №108434 Україна. № 201313783; заявл. 27.11.2013; опубл. 27.04.15, Бюл. № 8. 7 с.

Матеріали міжнародних наукових конференцій

28. **Kovalinska T.V.**, Ostapenko I.A., Sakhno V.I., Zelinskyu A.G. The development of new projection methods of radiation protection of industrial radiation installations. *The 4th International conference "Current Problems in Nuclear Physics and Atomic Energy"* : Proceedings. In two parts. Part I., Kyiv, September 3-7 2012. Kyiv, 2012. P. 150–154.

29. **Kovalinska T.V.**, Ostapenko I.A., Sakhno V.I., Zelinskyu A.G. The improvement of KINR NASU experimental base and methods of nondestructive control offunctional characteristics of Nuclear Power Stations' equipment and materials. *The 4th International conference "Current Problems in Nuclear Physics and Atomic Energy"*. Proceedings. In two parts. Part I., Kyiv, September 3-7 2012. Kyiv, 2012. P. 155–159.

30. **Kovalinska T.V.**, Khalova N.V., Ostapenko I.A., Sakhno V.I., Shlapatska V.V., Zelinskyu A.G. The problems of the usage of powerful electrons accelerators for the irradiation of Nuclear Power Stations' equipment and materials. *The 4th International Conference "Current Problems in Nuclear Physics and Atomic Energy"*. Proceedings. In two parts. Part I., Kyiv, September 3-7 2012.

Київ, 2012. Р. 504–509.

31. **Ковалінська Т.В.**, Римаренко Т.І., Сахно В.І. Електрофізична інноваційна технологія рибної кулінарії з комбінації морських і прісноводних риб. *Інтегроване управління водними ресурсами*. К.: ДІА, 2013. С. 294–306.

32. **Kovalinska T.**, Sakhno V., Maievska T., Mikhneva E. Electrophysical radiation technologies in the production of food products. *Compiled by International Cooperation Department Shandong Academy of Sciences*. Jinan, 30th October 2017. Jinan, 2017. P. 36–48.

Тези доповідей

33. Ahmedzade P., Fainleib A., Günay T., Starostenko O., Grigoryeva O., Sakhno V., **Kovalinska T.**, Martinez-Barrera G. Modification of bitumen by gamma irradiated recycled low density polyethylene for pavement application. *ROSAM is a Polychar satellite meeting: Book of Abstracts*, Rouen, France June 3-7, 2013. Rouen, France, 2013. P. 78.

34. Ahmedzade P., Fainleib A., Grigoryeva O., Günay T., Kultayev B., Sakhno V., Starostenko O., **Kovalinska T.** Modification of bitumen by recycled post-consumer low density polyethylene with surface activated using air ion irradiation. *3rd International Conference on Sustainable Construction Materials & Technologies: Book of Abstracts*, Kyoto, Japan. August 18-21, 2013. Kyoto, Japan, 2013. P. 134.

35. **Kovalinska T.**, Sakhno V. Complex research and qualification methods of cement products for the processing, accumulation and storage of radioactive waste. *2nd International Symposium on Cement-based Materials for Nuclear Wastes*. Book of Abstracts, Avignon, France. June 3-6, 2014. Avignon, France, 2014. P. 77.

36. Бондаренко Д.В., Зелінський А.Г., **Ковалінська Т.В.**, Лебська Т.К., Сахно В.І., Халова Н.В. Дослідження шляхів адаптації аероіонних технологій до виробництва в'яленої продукції з чорноморських видів риб. *XIX щорічна конференція Інституту ядерних досліджень НАН України*: зб. тез доп. наук.-практ. конф., м. Київ, 24-27 січня 2012 р. Київ, 2012. С. 154–155.

37. Зелінський А.Г., **Ковалінська Т.В.**, Лебська Т.К., Голембовська Н.В., Сахно В.І., Халова Н.В. Дослідження ефективності використання пікохвильових технологій ІЯД НАН України для виробництва пресервів з прісноводних риб. *XIX щорічна конференція Інституту ядерних досліджень НАН України*: зб. тез доп. наук.-практ. конф., м. Київ, 24-27 січня 2012 р. Київ, 2012. С. 156–157.

38. Зелінський А.Г., **Ковалінська Т.В.**, Лебська Т.К., Маєвська Т., Сахно В.І., Халова Н.В. Дослідження процесів радіаційної модифікації міофібрилярних білків у харчових продуктах. *XIX щорічна конференція Інституту ядерних досліджень НАН України*: зб. тез доп. наук.-практ. конф., м. Київ, 24-27 січня 2012 р. Київ, 2012. С.161.

39. Зелінський А.Г., **Ковалінська Т.В.**, Лебська Т.К., Міхнева К., Сахно В.І., Халова Н.В. Експериментальне дослідження впливу електронного опромінювання на структурно-механічні властивості тканин рапани, восьминогів та кальмарів на радіаційній установці ІЯД НАН України. *XIX щорічна конференція Інституту ядерних досліджень НАН України*: зб. тез доп. наук.-практ. конф., м. Київ, 24-27 січня 2012 р. Київ, 2012. С.162.

40. Вишневський І.М., Зелінський А.Г., **Ковалінська Т.В.**, Остапенко І.А., Пилипець Д.Т., Сахно В.І., Халова Н.В. Дослідження проблем використання радіаційної установки ІЯД НАН України в технологіях нових конструкційних матеріалів в ядерній енергетиці. *XIX щорічна конференція Інституту ядерних досліджень НАН України*: зб. тез доп. наук.-практ. конф., м. Київ, 24-27 січня 2012 р. Київ, 2012. С. 96–97.

41. **Ковалінська Т.В.**, Остапенко І.А., Сахно В.І., Вишневський І.М. Перспективи розвитку експериментальної бази радіаційних досліджень ІЯД НАН України. *XX щорічна*

конференція Інституту ядерних досліджень НАН України: зб. тез доп. наук.-практ. конф., м. Київ, 28 січня-1 лютого 2013 р. Київ, 2013. С. 102.

42. Вишневський І.М., **Ковалінська Т.В.**, Сахно В.І. Історія, стан та перспективи розвитку радіаційних технологій в ІЯД НАН України. *XX щорічна конференція Інституту ядерних досліджень НАН України*: зб. тез доп. наук.-практ. конф., м. Київ, 28 січня-1 лютого 2013 р. Київ, 2013. С. 116.

43. **Ковалінська Т.В.**, Остапенко І.А., Сахно В.І., Желтоножський В.О. Актуальність дослідження впливу іонізуючих випромінювань та заряджених частинок низьких енергій на функціональні характеристики обладнання для ядерної енергетики. *XX щорічна конференція Інституту ядерних досліджень НАН України*: зб. тез доп. наук.-практ. конф., м. Київ, 28 січня-1 лютого 2013 р. Київ, 2013. С. 102.

44. Зелінський А.Г., **Ковалінська Т.В.**, Остапенко І.А., Сахно В.І. Дослідження радіаційної стійкості конструкційних матеріалів АЕС України. *XX щорічна конференція Інституту ядерних досліджень НАН України*: зб. тез доп. наук.-практ. конф., м. Київ, 28 січня-1 лютого 2013 р. Київ, 2013. С. 103.

45. **Ковалінська Т.В.**, Остапенко І.А., Сахно В.І., Зелінський А.Г., Халова Н.В. Проблеми оптимізації опромінювання промислових виробів. *XX щорічна конференція Інституту ядерних досліджень НАН України*: зб. тез доп. наук.-практ. конф., м. Київ, 28 січня-1 лютого 2013 р. Київ, 2013. С. 114.

46. **Ковалінська Т.В.**, Зелінський А.Г., Сахно В.І., Остапенко І.А., Халова Н.В., Шлапацька В.В. Проблеми технологічної дозиметрії радіаційних процесів. *XX щорічна конференція Інституту ядерних досліджень НАН України*: зб. тез доп. наук.-практ. конф., м. Київ, 28 січня-1 лютого 2013 р. Київ, 2013. С. 115.

47. Korpansky P., **Kovalinska T.**, Sakhno V. The radiation stability of magnetic fluids for bioapplications and technical applications. *Міжнародна конференція молодих учених і аспірантів «ІЕФ-2013»*: матеріали конф. м. Ужгород, 20-23 травня 2013 р. Ужгород, 2013. С. 57–58.

48. **Ковалінська Т.В.** Електромеханічний прилад для контролю конфігурації пучка електронів потужного промислового прискорювача радіаційної установки. *Міжнародна конференція молодих учених і аспірантів «ІЕФ-2013»*: матеріали конф. м. Ужгород, 20-23 травня 2013 р. Ужгород, 2013. С. 297–298.

49. **Ковалінська Т.В.**, Остапенко І.А., Сахно В.І. Проект удосконаленого дослідницького радіаційного комплексу ІЯД НАН України. *Міжнародна конференція молодих учених і аспірантів «ІЕФ-2013»*: матеріали конф. м. Ужгород, 20-23 травня 2013 р. Ужгород, 2013. С. 299–300.

50. **Ковалінська Т.В.**, Сахно В.І. Аналіз результатів радіаційних випробувань магнітних рідин і обговорення перспектив радіаційних технологій створення магнетизованих біопрепаратів. *Міжнародна конференція молодих учених і аспірантів «ІЕФ-2013»*: матеріали конф. м. Ужгород, 20-23 травня 2013 р. Ужгород, 2013. С. 116–117.

51. **Ковалінська Т.В.**, Вишневський І.М., Остапенко І.А., Сахно В.І., Файнлейб А.М. Методи дослідження і кваліфікації цементних виробів для переробки та зберігання радіоактивних відходів. *XXI щорічна конференція Інституту ядерних досліджень НАН України*: зб. тез доп. наук.-практ. конф., м. Київ, 27-31 січня 2014 р. Київ, 2014. С. 108.

52. Остапенко І.А., Вишневський І.М., **Ковалінська Т.В.**, Сахно В.І. Дослідження параметрів поля радіаційної установки ІЯД НАН України з метою проведення кваліфікаційних випробувань обладнання АЕС. *XXI щорічна конференція Інституту ядерних досліджень НАН України*: зб. тез доп. наук.-практ. конф., м. Київ, 27-31 січня 2014 р. Київ, 2014. С. 114.

53. Сахно В.І., Вишневецький І.М., Зелінський А.Г., **Ковалінська Т.В.**, Остапенко І.А., Халова Н.В. Дослідження та розробка прискорювача 0,5 МеВ для експериментального радіаційного комплексу. *XXI щорічна конференція Інституту ядерних досліджень НАН України*: зб. тез доп. наук.-практ. конф., м. Київ, 27-31 січня 2014 р. Київ, 2014. С. 121.

54. Сахно В.І., **Ковалінська Т.В.**, Вишневецький І.М., Зелінський А.Г., Остапенко І.А. Удосконалена система вимірювань змішаних β -, γ -полів у реакційній камері радіаційної установки ІЯД НАН України. *XXII щорічна конференція Інституту ядерних досліджень НАН України*: зб. тез доп. наук.-практ. конф., м. Київ, 26-30 січня 2015 р. Київ, 2015. С. 109.

55. Сахно В.І., **Ковалінська Т.В.**, Вишневецький І.М., Зелінський А.Г., Остапенко І.А. Техніка та методи радіаційних вимірювань у дослідженнях на пучках електронів 4 МеВ радіаційної установки ІЯД. *XXII щорічна конференція Інституту ядерних досліджень НАН України*: зб. тез доп. наук.-практ. конф., м. Київ, 26-30 січня 2015 р. Київ, 2015. С. 109–110.

56. Сахно В.І., **Ковалінська Т.В.**, Вишневецький І.М., Зелінський А.Г., Остапенко І.А., Халова Н.В. Дослідження та розробка прискорювача 0.5 МеВ для експериментального радіаційного комплексу. *XXII щорічна конференція Інституту ядерних досліджень НАН України*: зб. тез доп. наук.-практ. конф., м. Київ, 26-30 січня 2015 р. Київ, 2015. С. 110–111.

57. Вишневецький І.М., Гайдар Г.П., Коваленко О.В., **Ковалінська Т.В.**, Коломієць М.Ф., Липська А.І., Литовченко П.Г., Сахно В.І., Шевель В.М. Радіаційні та ядерні технології в Інституті ядерних досліджень НАН України. *XXII щорічна конференція Інституту ядерних досліджень НАН України*: зб. тез доп. наук.-практ. конф., м. Київ, 26-30 січня 2015 р. Київ, 2015. С. 120.

58. **Ковалінська Т.В.** Актуальні напрямки радіаційних технологій. *XXII щорічна конференція Інституту ядерних досліджень НАН України*: зб. тез доп. наук.-практ. конф., м. Київ, 26-30 січня 2015 р. Київ, 2015. С. 126.

59. **Ковалінська Т.В.**, Зелінський А.Г., Сахно В.І., Файнлейб О.М., Колесник Д.Ю., Шейніч Л.О. Фізико-технічні основи і технологія нового покоління радіаційно-модифікованого полімербетону. *Міжнародна конференція молодих учених і аспірантів «ІЕФ-2013»*: матеріали конф. м. Ужгород, 18-22 травня 2015 р. Ужгород, 2015. С. 141–142.

60. Остапенко І.А., **Ковалінська Т.В.**, Сахно В.І. Дослідження нетрадиційних методів вимірювання інтенсивних змішаних радіаційних полів. *Міжнародна конференція молодих учених і аспірантів «ІЕФ-2013»*: матеріали конф. м. Ужгород, 18-22 травня 2015 р. Ужгород, 2015. С.177–178.

61. Михнева Е.Г., **Ковалинская Т.В.**, Сахно В.И. Радиационные технологии переработки. *Міжнародна конференція молодих учених і аспірантів «ІЕФ-2013»*: матеріали конф. м. Ужгород, 18-22 травня 2015 р. Ужгород, 2015. С. 154–155.

62. **Ковалінська Т.В.**, Зелінський А.Г., Михнева Є.Г., Сахно В.І. Розробка і випробування радіаційних технологій промислової дезінфекції готових харчових продуктів. *XXIV щорічна конференція Інституту ядерних досліджень НАН України*: зб. тез доп. наук.-практ. конф., м. Київ, 10-13 квітня 2017 р. Київ, 2017. С. 201–203.

63. **Ковалінська Т.В.**, Іванов Ю.В., Зелінський А.Г., Михнева Є.Г., Сахно В.І., Хамбір С.І. Радіаційна модифікація пористих будівельних матеріалів. *XXIV щорічна конференція Інституту ядерних досліджень НАН України*: зб. тез доп. наук.-практ. конф., м. Київ, 10-13 квітня 2017 р. Київ, 2017. С. 145–146.

64. **Ковалинская Т.В.**, Сахно В.И., Михнева Е.Г. Электрофизика – инновационное технологическое направление в производстве продуктов питания из гидробионтов. *VII Міжнародна науково-практична конференція вчених, аспірантів і студентів НУБіП України*: збірник праць, м. Київ, 27-28 квітня 2017 р. Київ, 2017. С. 247–248.

65. Сахно В.И., Михнева Е.Г., **Ковалинская Т.В.**, Лебская Т.К. Исследование возможностей применения ионизирующих излучений в качестве инструмента пищевых технологий. *VII Міжнародна науково-практична конференція вчених, аспірантів і студентів НУБіП України: збірник праць*, м. Київ, 27-28 квітня 2017 р. Київ, 2017. С. 253–254.

66. **Ковалинская Т.В.**, Михнева Е.Г., Сахно В.И., Голембовская И.В. Ионные технологии в переработке рыбы. *VII Міжнародна науково-практична конференція вчених, аспірантів і студентів НУБіП України: збірник праць*, м. Київ, 27-28 квітня 2017 р. Київ, 2017. С. 254–255.

67. Иванов Ю.В., Сахно В.И., **Ковалінська Т.В.**, Жернов О.А., Зелінський А.Г., Сахно Л.О., Ніколаєв В.Г. Модернізація радіаційної установки СРТ для медико-біологічних досліджень in-vivo. *XXV щорічна конференція Інституту ядерних досліджень НАН України: зб. тез доп. наук.-практ. конф.*, м. Київ, 16-20 квітня 2018 р. Київ, 2018. С. 128–129.

68. Сахно В.И., Иванов Ю.В., **Ковалінська Т.В.**, Жернов О.А., Зелінський А.Г. Дослідження шляхів експлуатації потужного промислового прискорювача при низьких і наднизьких струмах пучка. *XXV щорічна конференція Інституту ядерних досліджень НАН України: зб. тез доп. наук.-практ. конф.*, м. Київ, 16-20 квітня 2018 р. Київ, 2018. С. 140–141.

69. Сахно В.И., Жернов О.А., **Ковалінська Т.В.**, Сахно Л.О., Ніколаєв В.Г., Иванов Ю.В. Аналіз спектра гідролізатів радіаційної технології модифікації медичних розчинів. *XXV щорічна конференція Інституту ядерних досліджень НАН України: зб. тез доп. наук.-практ. конф.*, м. Київ, 16-20 квітня 2018 р. Київ, 2018. С. 225–226.

70. **Ковалінська Т.В.**, Сахно В.И., Иванов Ю.В., Хомич І.А., Маєвська Т.І. Розробки радіаційних технологій гідролізних наноматеріалів для ядерної та традиційної медицини. *XXVI щорічна конференція Інституту ядерних досліджень НАН України: зб. тез доп. наук.-практ. конф.*, м. Київ, 8-12 квітня 2019 р. Київ, 2019. С. 104–105.

71. Борзаковський А.Є., **Ковалінська Т.В.**, Сахно В.И., Иванов Ю.В., Куц В.І., Боровець М.І., Рилошко В.О., Фанлейб О.М. Дослідження перспектив реалізації трекових технологій нанопористих матеріалів на ядерно-фізичних радіаційних установках ІЯД НАН України. *XXVI щорічна конференція Інституту ядерних досліджень НАН України: зб. тез доп. наук.-практ. конф.*, м. Київ, 8-12 квітня 2019 р. Київ, 2019. С. 104.

72. Хомич І.А., Сахно В.И., **Ковалінська Т.В.** Аналіз результатів кваліфікації обладнання у вітчизняній атомній енергетиці. *XXVII щорічна конференція Інституту ядерних досліджень НАН України. До 50-річчя ІЯД НАН України: зб. тез доп. наук.-практ. конф.*, м. Київ, 21-25 вересня 2020 р. Київ, 2020. С. 153–154.

73. **Ковалінська Т.В.**, Иванов Ю.В., Сахно В.И., Файнлейб О.М., Григор'єва О.П., Старостенко О.М., Мельниченко О.В., Шлапацька В.В., Пилипенко А.М. Дослідження радіаційної стійкості плівок для ядерних мембран з поліціануратів. *XXVII щорічна конференція Інституту ядерних досліджень НАН України. До 50-річчя ІЯД НАН України: зб. тез доп. наук.-практ. конф.*, м. Київ, 21-25 вересня 2020 р. Київ, 2020. С. 164–165.

74. **Ковалінська Т.В.**, Иванов Ю.В., Сахно В.И. Імітація уражуючих факторів ядерного впливу. *XXVII щорічна конференція Інституту ядерних досліджень НАН України. До 50-річчя ІЯД НАН України: зб. тез доп. наук.-практ. конф.*, м. Київ, 21-25 вересня 2020 р. Київ, 2020. С. 166–167.

75. Лебська Т.К., Борисенко Р.В., Бондаренко Є.В., **Ковалінська Т.В.**, Сахно В.И. Перспективи аероіонних технологій у процесах в'ялення риби. *XXVII щорічна конференція Інституту ядерних досліджень НАН України. До 50-річчя ІЯД НАН України: зб. тез доп. наук.-практ. конф.*, м. Київ, 21-25 вересня 2020 р. Київ, 2020. С. 254.

АНОТАЦІЯ

Ковалінська Т.В. – Використання іонізуючого випромінювання в інноваційних технологіях. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.04.16 – фізика ядра, елементарних частинок і високих енергій. – Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, 2021.

Досліджено проблеми використання ядерної енергії для технологічного розвитку суспільства. Дисертація охоплює перспективні ядерні та радіаційні технології покращення будівельних матеріалів, високоякісних продуктів харчування, промислової дезінфекції та стерилізації, функціональні радіаційні випробування і сертифікацію техніки та матеріалів для об'єктів критичної інфраструктури, використання ядерної енергії для вирішення актуальних проблем медицини, дослідницьку та промислову техніку для реалізації інноваційних радіаційних технологій виробництва.

Основне завдання – розробити шляхи вирішення фізико-технічних проблем використання ядерної енергії в різних галузях промисловості. Метою є поглиблене дослідження ефектів взаємодії радіації з матерією, перспективних для практичного використання в реальних технологічних процесах, дослідження та розробка технічних засобів для фундаментальних і прикладних досліджень даного напрямку, розробка технологій, перспективних для використання в різних галузях промисловості.

Виявлено оригінальний економічно і енергетично вигідний напрямок застосування заряджених частинок низьких та наднизьких енергій для модифікації органічної сировини при виробництві харчових продуктів та деяких інших технологічних процесах, пов'язаних з сучасними високомолекулярними сполуками і матеріалами. Розроблено наукові основи проектування радіаційної техніки для досліджень та реалізації технологічних процесів, пов'язаних з опромінюванням іонами низьких та наднизьких енергій. Розроблено ряд установок для опромінювання іонами в лабораторних дослідженнях, при розробці методів використання іонів, для випробувань та здійснення практичних технологій в галузі виробництва харчових продуктів. Започатковано та експериментально випробувано оригінальний напрямок радіаційних технологій, пов'язаний з використанням заряджених частинок низької та наднизької енергії.

Удосконалено традиційні напрямки прогресу промислових технологій, пов'язаних з мирним використанням ядерної енергії. Удосконалено методики знешкодження патогенної мікрофлори в готових промислових харчових продуктах без впливу на їхні поживні та смакові показники. Їх впровадження дозволяє запобігати виникненню епідеміологічних проблем, що поширюються через харчові продукти та сировину. Запропоновано оригінальні шляхи використання ядерної енергії як технологічного інструменту активної модифікації сировини в безпечні для споживання дієтичні високоякісні продукти харчування з заданими властивостями.

Узагальнено результати досліджень шляхів прогресу техніки генерації іонізуючих випромінювань, необхідної для забезпечення поступального розвитку

практичних методів застосування ядерної енергії в промислових процесах. Отримали подальший розвиток конструкції технічних засобів генерації, транспортування, експериментальних робіт та допоміжних технічних засобів для розробок технологій з іонізуючими випромінюваннями. Модернізовано радіаційний комплекс ІЯД, який забезпечить фундаментальні дослідження і прикладні роботи в широкому діапазоні енергій іонізуючих випромінювань в різних галузях реальної промисловості. Запропоновано перспективний шлях створення радіаційних комплексів – імітаторів різних факторів ядерної енергії. Досліджено можливості таких імітаторів. Експериментально доведено, що об'єднання низки ядерно-фізичної техніки на вирішення цільової прикладної програми – це найефективніший шлях корисного практичного використання цієї дорогої сучасної техніки. За допомогою імітаторів в ІЯД розроблено оригінальні технології термостійких ядерних мембран підвищеної міцності, удосконалено комплексні технології функціональних випробувань обладнання критичної сфери на предмет надійності роботи в екстремальних ситуаціях (умовах експлуатації), технології дослідження реальної функціональності нових матеріалів, підвищення функціональної ефективності лікарських засобів.

Наведено інноваційні технології, розроблені та реалізовані на удосконаленій радіаційній техніці для харчового виробництва, промислової індустрії, медицини. Створено оригінальні композитні цементуючі системи, які надали можливість виробляти радіаційно модифікований композитний полімербетон, що різко переважає усі існуючі типи сучасних промислових бетонів за показниками міцності, корозійної стійкості, стирання, морозостійкості та стійкості до агресивних середовищ. Запропоновано нові підходи до промислової гідрофобізації готових цементних виробів, пов'язані з залучення ядерної енергії та сучасних силіконових модифікаторів. Розроблено радіаційну технологію отримання (виробництва) нового покрівельного органо-мінерального композитного матеріалу з тривалою експлуатацією в будь-яких кліматичних умовах, радіаційну технологію гідрофобізації конструкційних будівельних матеріалів з дерева.

Наведено нові напрямки радіаційних технологій для вирішення екологічних проблем пов'язаних зі знешкодженням інфікованих стоків інфекційних відділень лікарень, полімерних відходів від зношених промислових і побутових виробів (вторинних полімерів). Розроблено шлях їх використання для виготовлення дорожнього покриття підвищеної якості за рахунок модифікації природного зв'язуючого (бітуму) вторинними полімерами.

Ключові слова: іонізуюче випромінювання, ядерна енергія, електрони, іони, радіаційні дослідження, радіаційна модифікація матеріалів, радіаційна техніка, радіаційні технології, технологічна дозиметрія, імітатори, композитні матеріали, радіаційна дезінфекція, гідрофобізація.

ABSTRACT

Kovalinska T. Using ionized irradiation in radiation technologies. – Manuscript.

Dissertation for the Doctor of Technical Sciences degree major in 01.04.16 – physics of nucleus, elementary particles and high energies. – Institute for Nuclear Research, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, 2021.

The problems of using nuclear energy for the technological development of the society are researched. The dissertation encompasses promising nuclear and radiation technologies of improving building materials, high quality food, industrial disinfection and sterilization, functional radiation testing and certification of equipment and materials for critical infrastructure, the usage of nuclear energy for solving actual problems of medicine, research, and industrial equipment for the implementation of innovative radiation technologies of the production.

The main task is to develop the ways of solving physical and technical problems of nuclear energy usage in various industries. The aim is a profound research of the effects of the interaction of radiation with the substance which are promising for practical usage in real technological processes, research and development of technical means for the fundamental and applied research in this area, the development of technologies that are promising to use in various sectors of the economy.

The original, not yet widespread but economically and energy-efficient direction of using charged particles of low and ultra-low energies for the modification of organic raw materials in food production and some other technological processes was discovered. These processes are connected with modern macromolecular compounds and materials. Scientific basics of projecting radiation technics for the research and realization of technological processes connected with irradiation with ions of low and ultra-low energies are developed. A set of installations for irradiation with ions in laboratory research was developed, in searching of methods of using ions for testing and implementation of practical technologies in the food production branch. The ordinal direction of radiation technologies was initiated and experimentally tested. This direction is connected with the usage of charged particles of low and ultra-low energy.

The traditional directions of progress of industrial technologies, related to the peaceful use of nuclear energy, were improved. Methods of neutralization of pathogenic microflora in ready-to-use industrial food products without any influence on their nutritional and gustatory qualities were improved. Their implementation allows to prevent epidemiological problems that are spread through food and raw materials. Original ways of using nuclear energy as a technological tool of active modification of raw materials into dietary high quality food products that are safe for consumption, with pre-determined properties are offered.

The research results of the ways of progress of ionizing irradiation generation technique, necessary for the progressive development of practical methods of nuclear energy use in industrial processes are generalized. Further development was received in the construction of technical means of generation, transportation, experimental work and auxiliary technical means for the development of technologies with ionizing irradiation. The radiation complex of the Institute of Nuclear Research was modernized, which will provide basic research and applied work in a wide range of ionizing irradiation energies in various branches of the real industry. The creation of radiation complexes – simulators of various factors of nuclear energy was offered as a perspective way. The capacities of such simulators were researched. It was experimentally proven that combining a number of nuclear and physics techniques for solving the targeted applied programme is the most effective way of using this expensive modern technology. At the Institute of Nuclear Research, with the help of simulators, original technologies of heat-resistant nuclear membranes of high strength

were developed, complex technologies of functional testing of critical sphere equipment for the reliability of functioning in extreme situations (operating conditions) were improved, as well as research technologies of the real functionality of new materials, and improvement of the efficiency of drugs.

Innovative technologies which were developed and implemented on the improved radiation technique for food production, industry, and medicine were presented. Original composite cementing systems were created, which made it possible to produce radiation-modified composite polymer concrete which is much better than all existing types of modern industrial concretes regarding their strength, corrosion resistance, abrasion, frost resistance and resistance to aggressive environments. New approaches to the industrial hydrophobization of finished cement products, connected with the involvement of nuclear energy and modern silicone modifiers were offered. Radiation technology for obtaining (production) of the new roofing organo-mineral composite material with long-term operation in any climatic conditions, and radiation technology for the hydrophobization of structural building materials of wood were developed.

New directions of radiation technologies for solving ecological problems connected with the neutralization of infected drains from infectious departments of hospitals, polymeric waste from the worn-out industrial and household products (secondary polymers) were presented. The way of their usage for the production of the high-quality road surface through the modification of natural binding (bitumen) with secondary polymers was developed.

Key words: ionizing radiation, nuclear energy, electrons, ions, radiation research, radiation modification of materials, radiation technology, radiation technology, technological dosimetry, simulators, hydrophobization, composite materials, radiation disinfection.

Ковалінська Тетяна Володимирівна

Використання іонізуючого випромінювання в інноваційних технологіях
(Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук)

Інститут ядерних досліджень НАН України 03028, Київ-28, проспект Науки, 47