

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ
(повне найменування вищого навчального закладу)

ФАКУЛЬТЕТ ОПЕРАТИВНО-РЯТУВАЛЬНИХ СИЛ
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

КАФЕДРА СПЕЦІАЛЬНОЇ ХІМІЇ ТА ХІМІЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи
за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти

на тему: «Дослідження стану та безпеки застосування радіаційної обробки рослинних матеріалів»

Виконав: здобувач вищої освіти 4 курсу за
першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти,
групи ХТк-19-245
галузі знань (освітньо-професійної програми)
16 «Хімічна та біоінженерія»,
(«Радіаційний та хімічний захист»)

Марина ВІЛЛЬ

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Керівник Дмитро ТРЕГУБОВ

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Рецензент Володимир ОЛІЙНИК

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ

Факультет (підрозділ) оперативно-рятувальних сил

Кафедра спеціальної хімії та хімічної технології

Галузь знань 16«Хімічна та біоінженерія»

Спеціальність 161«Хімічні технології та інженерія»
(назва)

Освітньо-професійна програма «Радіаційний та хімічний захист»
(назва)

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Начальник кафедри спеціальної
хімії та хімічної технології

Євген СЛЕПУЖНИКОВ

«___» _____ 20__ року

ЗАВДАННЯ НА ПІДГОТОВКУ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Віллє Марини Юрїївни
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Дослідження стану та безпеки застосування радіаційної обробки рослинних матеріалів»

керівник роботи Трегубов Дмитро Георгійович, к.т.н., доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затвержені наказом НУЦЗ України від «07» лютого 2023 року № 22

2. Строк подання здобувачем вищої освіти роботи 28 березня 2023 року

3. Кваліфікаційна робота виконується на матеріалах: відомості про характеристики радіаційних випромінювань, їх вплив на речовину, на подовження строків зберігання, на життєдіяльність мікроорганізмів, безпечних рівнів впливу на людину та довкілля та відомості щодо технології зберігання рослинних матеріалів у силосах

4. Зміст кваліфікаційної роботи (перелік питань, які потрібно розробити):

- аналіз методів подовження зберігання матеріалів рослинного походження;

- аналіз методів профілактики самозаймання матеріалів рослинного походження;

- аналіз можливості використання радіаційної обробки для попередження мікробіологічного самозаймання;

- розробка режимів застосування радіаційної обробки рослинних матеріалів для профілактики їх самозаймання;

- охорона праці при роботі з використанням джерел іонізуючого випромінювання.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень/слайдів):

мультимедійні слайди в кількості 19 штук

6. Консультанти за розділами кваліфікаційної роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
5	Мінська Н.В., доцент кафедри	13.03.23	19.03.23

7. Дата видачі завдання 07.02.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва заходів кваліфікаційної роботи	Строк виконання заходів роботи	Відмітка про виконання
1.	Отримання завдання	07.02.23	
2.	Збір інформації та аналітичний огляд літератури. Аналіз методів подовження зберігання матеріалів рослинного походження. Аналіз методів профілактики самозаймання матеріалів рослинного походження.	08.02.23	
3.	Аналіз можливості використання радіаційної обробки для попередження мікробіологічного самозаймання.	19.02.23	
4.	Розробка режимів застосування радіаційної обробки рослинних матеріалів для профілактики їх самозаймання.	01.03.23	
5.	Охорона праці при роботі з використанням джерел іонізуючого випромінювання	19.03.23	
6.	Підготовка презентації та реферату	20.03.23	
7.	Подання роботи на рецензування	22.03.23	
8.	Подання роботи на предзахист	28.03.23	
9.	Подання роботи на захист	03.04.23	

Завдання одержав

здобувач вищої освіти _____

(підпис)

Марина ВІЛІЬ

(Власне ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Завдання надав

керівник роботи _____

(підпис)

Дмитро ТРЕГУБОВ

(Власне ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Звіт про КР : 70 с., 14 рис., 4 табл., 60 джерел.

Ключові слова: життєдіяльність мікроорганізмів, самонагрівання, іонізуюче опромінення, доза опромінення, дезінфекція, радіаційний контроль.

Об'єкт досліджень: вплив іонізуючого опромінення на строки зберігання матеріалів рослинного походження та вирішення супутніх питань безпеки.

Мета роботи: проаналізувати стан, рівень безпеки та ефективності методів обробки рослинних матеріалів з використанням іонізуючих випромінювань.

Стислий зміст роботи та висновки:

Показано, що проблема подовження строків зберігання матеріалів рослинного походження має дві складові: псування цих матеріалів внаслідок життєдіяльності мікроорганізмів та комах, самонагрівання купи матеріалу внаслідок цих саме процесів. На даний час ці дві проблеми не розглядають у сукупності та вирішують окремими шляхами. Використовують заходи: хімічна обробка, зберігання за знижених температур, сушіння збіжжя, витискання повітря вуглекислим газом. На даний час для вирішення проблеми подовження строків зберігання харчових продуктів активно впроваджують радіаційні технології та зроблено режими, які знезаражують продукти та, при цьому, не змінюють їх споживчих характеристик та не створюють наведеної радіації.

Знезараження рослинних матеріалів досягається за доз опромінення не менше 4 кГр, але не більше 9 кГр для харчових продуктів, що не змінює їх споживчі характеристики, або до 50 кГр для сіна, торфу, сміття.

Аргументовано, що за умови впровадження радіаційної обробки для подовження строків зберігання рослинних матеріалів необхідно застосовувати металеві або бетонні конструкції з товщиною пропорційною потужністю джерела іонізуючого випромінювання, системи контролю режимів обробки, доз опромінення персоналу та радіаційного фону у зоні спостереження.

Область використання: подовження строків зберігання сільськогосподарської продукції.

Зміст

ВСТУП.....	7
1. Особливості використання радіаційної обробки матеріалів.....	9
1.1 Джерела іонізуючих випромінювань.....	9
1.2. Теоретичні засади вимірювання іонізуючих випромінювань.....	12
1.3. Класифікація засобів вимірювання іонізуючих випромінювань	15
1.4. Організація контролю радіаційного стану середовища	18
2. Напрямки використання іонізуючих випромінювань	22
2.1. Основи використання радіоактивних джерел для опромінення	22
2.2. Типові напрямки використання радіоактивних джерел для опромінення...	23
2.3. Застосування іонізуючих випромінювань для обробки харчових продуктів.....	25
3. Аналіз сучасних рішень проблеми тривалого зберігання матеріалів рослинного походження	28
3.1. Стан та тенденції у галузі подовження зберігання рослинних матеріалів..	30
3.2. Особливості зберігання дрібнодисперсних рослинного матеріалів походження	33
3.3. Стан та тенденції у галузі попередження самонагрівання матеріалів рослинного походження	39
4. Застосування іонізуючих випромінювань для попередження самозаймання рослинних матеріалів	46
4.1. Розв'язання проблеми мікробіологічного самонагрівання у контексті необхідності подовження строків зберігання матеріалів рослинного походження.....	46
4.2. Розробка способу профілактики мікробіологічного самозаймання рослинних матеріалів шляхом радіаційної обробки	49

					НУЦЗУ.2.16-47. СХ та ХТ РПЗ-02		
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив	Віль М.Ю.				Літ.	Лист	Листів
Перевірив	Трегубов Д.Г.					5	70
Н. контр	Скородумова О.Б				ХТК –19– 245		
Затв.	Слепужніков Є.Д.						
					Дослідження стану та безпеки застосування радіаційної обробки рослинних матеріалів		

4.3. Забезпечення безпеки застосування радіаційної обробки рослинних матеріалів.....	52
5. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	58
5.1. Організаційні заходи охорони праці за умови використання джерел іонізуючого випромінювання	58
5.2. Контроль безпеки використання джерел іонізуючого випромінювання..	59
5.3. Аналіз небезпеки розгерметизації контейнера з джерелом іонізуючого випромінювання	61
ВИСНОВКИ.....	64
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ.....	65

Вступ

Використання радіаційних технологій у сучасній національній економіці приносить користь людям у різних сферах. Типовою областю їх застосування є сільське господарство з різною метою: знезараження, генетична модифікація, гальмування біологічних процесів у матеріалі тощо. Водночас існують ризики для працівників, які експлуатують ці технології, для населення та навколишнього середовища.

Найбільш масштабно радіаційні технології впроваджують для збільшення строків зберігання харчових продуктів. Зерновий сектор України є стратегічною галуззю економіки, яка визначає пропозицію та ціни на основні продукти харчування для населення. Але робота цієї галузі характеризується сезонністю, що викликає необхідність зберігання великих кількостей сільськогосподарських продуктів. У зв'язку зі збільшенням середньорічної врожайності зернових культур, підтримка якості збіжжя стає дедалі важчою. Тому проблема зменшення втрат сільськогосподарської продукції, особливо зернових культур, на всіх етапах виробництва, зберігання, транспортування, переробки, збуту є важливим питанням державної політики. Так, відомо, що близько чверті щорічного врожаю зернових безповоротно втрачається через порушення технічних регламентів під час зберігання і переробки.

Скупчення твердих матеріалів рослинного походження є поширеним способом їх зберігання або природним варіантом їх утворення. Це можуть бути силоси зі збіжжям, сховища з одягом, стоги сіна, купи листя або сміття, торф'яники тощо. З часом у цих системах речовина псується, особливо за умов вологості, та водночас утворюється й накопичуються тепло біохімічних процесів, таких як життєдіяльність колоній мікроорганізмів або комах. Для об'єктів, де зберігаються рослинні матеріали здійснюють контроль температур, зміни складу газів, вологості матеріалів та інших умов зберігання. Недотримання цих заходів призводить до самонагрівання речовини, що може призвести до виникнення горіння. Вивалювання збіжжя з силосу є типовою дією на реєстрацію самонагрівання.

Означені процеси спричиняють близько 450 вибухів на рік газоподібних продуктів розкладання [1]. Але життєдіяльність колоній комах та аеробних мікроорганізмів, подальші процеси адсорбції та окиснення потребують наявності кисню. Тому у

					НУЦЗУ. 2.19-37.СХ та ХТ. РПЗ-02	Лист
						7
Зм	Лист	Підпис	№ докум	Дата		

практичних заходах з попередження таких процесів використовують хімічні засоби знезараження, витискання повітря з об'єму матеріалу вуглекислим газом, сушіння збіжжя або сіна. Але необхідно зазначити, що ці заходи недостатньо ефективні. Тому для подовження строків зберігання рослинних матеріалів зараз впроваджують іонізуюче опромінення, хоча для попередження самозаймання вживання таких заходів не розроблено.

Водночас необхідно зауважити, що іонізуючі випромінювання можуть спричинити розпад молекул органічних речовин. Тому доза та потужність опромінення мають безперервно контролюватися, технологія опромінення обмежувати його поширення за певні межі, а персонал дотримуватись відповідних заходів безпеки. Комплекс означених питань потребує вирішення.

					НУЦЗУ. 2.19-37.СХ та ХТ. РПЗ-02	Лист
						8
Зм	Лист	Підпис	№ докум	Дата		

РОЗДІЛ 1. ПАРАМЕТРИ РАДІАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ

1.1 Джерела іонізуючих випромінювань

На даний час виділяють п'ять рівнів структури матерії: молекули, атоми, ядра, нуклони (протони і нейтрони) і елементарні частинки. Основою для утворення атомів є варіативність об'єднання протонів і нейтронів у ядро (нуклід). Атоми з однаковою кількістю протонів, але різною кількістю нейтронів називають ізотопами. За певної енергії перші чотири рівні структури речовини можна розкласти на складові. Але деякі ізотопи є нестабільними і за звичайних умов з часом розпадаються самостійно з утворенням стабільного ізотопу через декілька етапів – їх називають радіонуклідами [2]. В обох випадках виникає іонізуюче випромінювання.

Іонізуюче випромінювання – це потік заряджених елементарних частинок, таких як ядра атомів, іони, електрони та інші, які можуть іонізувати та збуджувати атоми і молекули, коли вони проходять через речовину. Деякі з них називають проникаючим випромінюванням, яке має високу здатність до проникнення вглиб твердої речовини.

Фотонне випромінювання – це електромагнітна хвиля, яка складається з квантів (γ -, характеристичне та рентгенівське випромінювання). Воно має меншу довжину хвилі і вищу енергію, ніж радіо-, інфрачервоні, ультрафіолетові хвилі та видиме світло.

γ -кванти випромінюються з ядер під час їх радіоактивного розпаду або переходу у менш збуджений енергетичний стан, ядерних реакцій, за взаємодії іонізуючого випромінювання з речовиною, α - або β - розпадів, розпадів деяких елементарних частинок і анігіляції електрон-позитронних пар. Після випромінювання α - або β -частинок атомне ядро перебуває у збудженому стані, після чого атом повертається до свого нормального енергетичного стану, випромінюючи γ -кванти. γ -промені можуть утворюватися уламками поділу з тривалим періодом напіврозпаду або як наведене випромінювання в наслідок удару нейтронів по речовині матеріалів в зонах ядерних реакцій.

Наведене випромінювання – це також випускання γ -квантів, коли після захоплення нейтрону атом перетворюється на нестабільний радіонуклід.

					НУЦЗУ. 2.19-37.СХ та ХТ. РПЗ-02	Лист
						9
Зм	Лист	Підпис	№ докум	Дата		

Рентгенівське випромінювання – сукупність гальмівного та характеристичного випромінювань з енергіями фотонів від 1 кеВ до 1 МеВ, має меншу енергію, ніж γ -випромінювання, але діапазони довжин хвиль частково перекриваються. Головною різницею є те, що γ -випромінювання утворюється при протіканні змін у ядрі, а рентгенівське – при енергетичних переходах у атомі або при гальмуванні швидких електронів.

Характеристичне випромінювання виникає при переході електрону з зовнішнього енергетичного рівня на внутрішній при опроміненні аноду β -випромінюванням.

Гальмівне випромінювання за різкого прискорення заряджених частинок іншою частинкою, яка при цьому гальмується, водночас утворюються рентгенівське або γ -випромінювання. За механізмами наведеного та гальмівного випромінювання металеві захисні екрани можуть ставати джерелом *вторинного випромінювання*.

Корпускулярне випромінювання утворюється потоком частинок: α -, β -, нейтронів, протонів, космічних частинок та інших.

α -випромінювання виникає під час α -розпаду, коли емітуються ядра гелію, при цьому утворюється атом з порядковим номером на «2» меншим, так званий «лівий зсув». Має низку проникаючу здатність – менше ніж 0,1 мм у твердих матеріалах.

β -випромінювання утворюються під час електронного або позитронного β -розпаду як потік відповідних частинок. Після випромінювання електрону протон перетворюється у нейтрон, після випромінювання позитрону протон перетворюється у нейтрон. Емісія частинок відбувається зі швидкістю близькою до швидкості світла. Проникаюча здатність у металах – 3,5 мм (алюміній).

Нейтронне випромінювання утворюється після опромінення ядра елементарними частинками або γ -квантами у вигляді потоку електрично нейтральних частинок. Бомбардування ними речовини викликає вторинне випромінювання. Проникаюча здатність менше ніж 0,1 мм у твердих матеріалах.

Іонізуюче випромінювання може бути природного або штучного походження. Природне випромінювання включає космічне та земне випромінювання.

					НУЦЗУ. 2.19-37.СХ та ХТ. РПЗ-02	Лист
						10
Зм	Лист	Підпис	№ докум	Дата		

Космічне випромінювання складається з галактичного випромінювання (протон, α -частинки і важкі атоми) та випромінювання термоядерних реакцій Сонця, що формує природні радіаційні пояси в навколоземному просторі, коли заряджені частинки космічного випромінювання потрапляють у пастку магнітних полів.

Штучне іонізуюче випромінювання виникає за ядерних випробувань, мирних і військових ядерних вибухів, видобутку і збагачення уранових мінералів, використання і спалювання мінералів з вмістом радіонуклідів, застосування радіонуклідів у медичних або промислових цілях, роботи дослідницьких і енергетичних реакторів, сховищ радіоактивних відходів, рентгенівських установок, прискорювачів заряджених частинок. Тобто, джерелами радіаційного опромінення можуть бути енергетичні, γ - та рентгенівські установки, прискорювачі частинок та інші прилади, що утворюють потоки електронів, γ -квантів, нейтронів, важких заряджених частинок. Дія випромінювання, здатного до збудження ядер, може викликати наведене випромінювання, що також стає джерелом опромінення.

Людська діяльність, пов'язана з використанням джерел іонізуючого випромінювання, збільшує природний рівень радіації. Видобуток і використання руд та спалювання вугілля, що містять радіоактивні матеріали, природним чином розсіюють радіоізотопи. За такої діяльності утворюються різноманітні радіоактивні відходи, до яких відносять відпрацьоване ядерне паливо, матеріали, забруднені радіоактивними речовинами або такі, що набули наведену радіоактивність.

У теперішній час розширюється використання радіоактивних матеріалів у промисловості, сільському господарстві та наукових дослідженнях. При цьому медичні напрямки застосування (радіологічна діагностика і лікування, ядерна медицина, інтервенційна радіологія) створюють зростаючий внесок в опромінення населення. Тому людська діяльність вимагає знань про джерела іонізуючого випромінювання, їхній вплив на людину і навколишнє середовище, а також розробки методик належного їх застосування та управління заходами безпеки за використання у різних сферах життя.

За накопичення радіоактивних речовин на поверхнях, усередині матеріалів, повітрі виникає *радіоактивне забруднення*. Для захисту людей від опромінення ви-

					НУЦЗУ. 2.19-37.СХ та ХТ. РПЗ-02	Лист
						11
Зм	Лист	Підпис	№ докум	Дата		

користовують екрани, захисну дію яких виражають у свинцевому еквіваленті, який показує – який шар свинцю має аналогічну захисну дію.

Оперативним реагуванням на випадки виявлення покинутих радіоактивних матеріалів та їх доставкою до безпечних контрольованих сховищ, ізольованих від навколишнього середовища та доступу громадськості на Україні займається спеціалізований підрозділ підприємства «Радон» - ДМСК. Україна повинна інформувати МАГАТЕ про будь-яке виявлене джерело. Водночас слід зазначити, що незаконне володіння джерелами іонізуючого випромінювання карається позбавленням волі до восьми років.

1.2 Теоретичні засади вимірювання іонізуючих випромінювань

Для захисту від радіаційного впливу необхідно знати як впливає іонізуюче випромінювання на людини у вигляді миттєвих та накопичувальних характеристик. Знаючи порогові значення можна контролювати можливість перебування або обмежувати час перебування людини у зоні такого впливу.

Іонізаційна активність радіоактивних речовин визначається не стільки їх масою, скільки кількістю частинок, які випромінюються, або ядер, які поділилися, що визначають за параметром «*активність радіоактивного ізотопу*» – за кількістю атомів, що розпадаються за одиницю часу, а також за *періодом напіврозпаду* – час, за який розпадається половина початковий радіоактивних атомів.

Радіоактивність вимірюють у «Беккерелях» (Бк), який відповідає одному радіоактивному розпаду за секунду. А 1 Ки говорить про $3,7 \cdot 10^{10}$ розпадів за секунду. Внаслідок дуже різної інтенсивності розпадів застосовують розмірності: МКи, кКи, Ки, мКи, мкКи, або ПБк, ТБк, ГБк, МБк; кБк; Бк. Цей показник іноді перераховують на *питому* або *об'ємну активність* (Бк/кг, Бк/см³). Питому активність матеріалу при переробці радіоактивних речовин характеризують за *рівнем вилучення*.

Поглинену дозу радіоактивного випромінювання характеризує кількість енергії у Дж, яку прийшла на одиницю маси опроміненого матеріалу у кг (Дж/кг = Гр, грей).

Здатність поглиненої дози спричиняти шкоду організмам характеризують *ек-*

					НУЦЗУ. 2.19-37.СХ та ХТ. РПЗ-02	Лист
						12
Зм	Лист	Підпис	№ докум	Дата		

вiвалентною дозою, яка враховує рiзну iонiзуючу здатнiсть випромiнювань: для β - и γ - – коефiцiєнт «1», для α - – «20», для нейтронного – 5–20. Одиницею вимiрювання також є Дж/кг, але значення поглинутої дози змiнилося пропорцiйно застосованому коефiцiєнту, нову одиницю назвали «зiверт» (Зв). *Ефективна еквiвалентна доза* показує сумарний ефект опромiнення органiзму.

iнтенсивнiсть утворення фотонiв протягом одного розпаду з врахуванням iх енергiї на одиницю активностi показує *потужнiсть дози*, тобто – це доза, отримана за одиницю часу (Гр/с або Зв/с).

Для характеристики γ -випромiнювання iзотопiв застосовують також *γ -еквiвалент* (мiліграм-еквiвалент радiю, 1 мг-екв Ra) як кiлькiсть γ -випромiнювання, яке створює таку ж саме iонiзацiю, як й дiя 1 мг Ra.

iнтенсивнiсть та дози iонiзуючого випромiнювання ,стан опромiненого устаткування або територiї, реєструють за допомогою дозиметрiї. Реєстрацiю експозицiйної дози використовують для визначення стану матерiалiв, речовини бiологiчних тканин. Прилади вимiрювання iонiзуючого випромiнювання мiстять чутливий елемент-детектор, який фiксує та вимiрює потiк iонiзуючих частинок або вiдповiднi отриманi дози. Радiометричнi прилади надають вимiрянiю iнформацiю за допомогою аналогових або дискретних (лiчильних) методiв. Вибiр методу вимiрювання визначається швидкiстю роботи, точнiстю, кiлькiстю каналiв i пристроiв виведення для аналізу та визначення.

При роботi з аналоговим методом можливи два режими роботи: стацiонарний i нестацiонарний. Перший використовують для вимiрювання товщини за фiксованим вихiдним сигналом. Нестабiльний режим використовують для виявлення дефектiв. При цьому вимiрювання здiйснюється за миттєвим вихiдним сигналом, який не досяг стацiонарного рiвня. У разi неможливостi використання дискретного методу (для гальмiвного джерела випромiнювання) необхідно вибрати бiльш точний метод вимiрювання за середнiм струмом в нестацiонарному режимi. При використаннi методу середнього струму вимiрювання в нестацiонарному режимi є бiльш складним i додає похибки приладу, оскiльки необхідно точно зафiксувати кiнцевий момент вимiрювання.

					НУЦЗУ. 2.19-37.СХ та ХТ. РПЗ-02	Лист
						13
Зм	Лист	Пiдпис	№ докум	Дата		

Детектори є чутливими елементами приладів вимірювання: дозиметрів, радіометрів, індикаторів, спектрометрів, лічильників, сканерів. За принципом дії вони бувають іонні, фотоелектричні, люмінесцентні, напівпровідникові, фотографічні та хімічні.

Фотонне та корпускулярне випромінювання можна реєструвати за просторовою іонізацією газів або твердих напівпровідників з утворенням позитивно або негативно заряджених ділянок. Інтенсивність струму, що виникає, пропорційна дозі випромінювання, а тривалість імпульсу – його інтенсивності. *Іонну детекцію* застосовано в іонізаційних камерах, лічильниках Гейгера-Мюллера, напівпровідникових детекторах.

Іонізаційна камера – це система з двох електродів під напругою. Коли в повітряному просторі між ними виникає іонізація, електричний ланцюг стає замкнутим і виникає струм, пропорційний потужності дози опромінення.

У *лічильнику Гейгера-Мюллера* циліндрична система під напругою з металевим стрижнем по центру, заповнена інертними газами. Кожна частинка радіоактивного випромінювання викликає електронну лавину та імпульс струму, який фіксує прилад. За кількістю імпульсів вимірюють інтенсивність іонізуючого опромінення.

Напівпровідниковий детектор виявляє заряджені частинки та потужні фотони після іонізації в об'ємі напівпровідника, що змінює його опір та електричний струм крізь нього. Прилад реєструє інтенсивність та енергію падаючих частинок, спектр фотонів, тип випромінювання.

Виявлення радіаційного випромінювання шляхом *сцинтиляції* засновано на появі під його впливом та фотореєстрації спалахів у деяких кристалах [3]. Сигнал посилює фотоелектронний помножувач. Відповідні дозиметри визначають потужність дози опромінення.

Також існують люмінофори які виявляють *люмінесценцію* яка виникає під впливом іонізуючого випромінювання.

Використовують пряму *фотодетекцію*, коли під впливом іонізуючого випромінювання змінюється хімічний стан солі, що при проявленні дає потемніння рентгенівської плівки або іншої чутливої поверхні. Чим більше енергії випромінювання поглинуто, тим темніше буде зображення. Це явище використовують в радіографії та фотометрії для вимірювання дози опромінення.

					НУЦЗУ. 2.19-37.СХ та ХТ. РПЗ-02	Лист
						14
Зм	Лист	Підпис	№ докум	Дата		

Хімічна детекція вимірює концентрацію продуктів фотохімічної реакції в рідкій або твердій системі під впливом іонізуючого випромінювання за зміною кольору. Колір системи і зміна його інтенсивності пов'язані зі ступенем іонізації в ній. Через низьку чутливість і роздільну здатність цього методу вимірювання його використовують для реєстрації та кількісної оцінки значних рівнів іонізуючого випромінювання.

Радіоізотопна детекція вимірює ступінь поглинання або розсіювання гамма-випромінювання на складових матеріалів. Присутність і концентрація хімічних елементів з великою атомною вагою в речовині змінює щільність випромінювання, розсіяного під певним кутом.

1.3 Класифікація засобів вимірювання іонізуючих випромінювань

Засоби детекції радіаційних випромінювань використовують як для реєстрації стану довкілля, у певному об'ємі під час підтримання технологічного режиму, як зміни у випромінюванні під час детекції матеріалів, а також у зоні спостереження біля радіаційно небезпечних приладів.

Джерелом випромінювання буває ізотоп. У пристроях, що працюють за лічильним принципом, вимірюється середня частота імпульсів, що надходять на ФЕП, коли їх амплітуда перевищує заданий поріг виявлення.

Джерелом випромінювання буває прискорювач. При радіаційній дефектоскопії існує важливий взаємозв'язок між мінімальним розміром дефекту, піковою напругою живлення фотоприймача та інтенсивністю випромінювання. У диференціальному вимірюванні блок з двома детекторами розміщується за об'єктом вимірювання. Порівнюється еталонний та отриманий сигнал, різниця між якими визначає наявність та характер дефектів в об'єкті. За двоканального вимірювання однакові похибки двох одночасних вимірювань взаємно компенсуються.

Радіографія і радіоскопія різняться способом перетворення і відображення вимірюваного сигналу. Радіографія реєструє іонізуюче випромінювання за допомогою радіографічної плівки або заряджених напівпровідникових пластин. Радіографія візуалізує зображення радіаційного впливу на плівці з використанням люмінофорів. Наприклад, для радіографії зварних швів використовують джерело опромінення у

					НУЦЗУ. 2.19-37.СХ та ХТ. РПЗ-02	Лист
						15
Зм	Лист	Підпис	№ докум	Дата		

вигляді рентгенівської трубки 0,4 БПМ2-150 з напругою живлення 50–150кВ, номінальним струмом 5 мА, потужності 2кВт.

Метою виявлення іонізуючого випромінювання є визначення радіаційного стану на місцевості, вимірювання дози опромінення об'єктів, визначення структури та складу матеріалів. Спільні риси конструкції різних пристроїв: основним елементом приладу є детектор, отриманий первинний сигнал підсилюють для аналізу отриманої інформації.

Дозиметри вимірюють індивідуальну дозу іонізуючого опромінення для людини (експозиційну, поглинену, еквівалентну дозу) за період його впливу або за час перебування людини в області його дії. Загальна доза опромінення, отримана людиною, складається з безперервної дози. Для вимірювання дози опромінення, отриманої людиною за певний період часу (день, місяць, рік), використовують індивідуальний дозиметр. Дозиметр складається з конденсаторів іонізаційної камери, випромінювача світла, фотоприймача і хімічного детектора. Дозиметри вимірюють потужність дози іонізуючого випромінювання і показують швидкість накопичення дози з часом.


Радіометри дозволяють контролювати безпеку робіт з джерелами іонізуючого випромінювання, наявність та інтенсивність забруднення радіонуклідами певної території, а також концентрацію радіонуклідів у живих і неживих організмах. Радіометри вимірюють щільність потоку корпускулярного випромінювання за кількістю активних частинок (альфа- і бета-частинок) і визначають питому активність (концентрацію) радіонуклідів. Шкала цього приладу показує кількість імпульсів струму за одиницю часу, що відповідає кількості розпадів.

Гамма-спектрометр вимірює квантовий спектр енергії гамма-випромінювання або ізотопний склад випромінюваних радіонуклідів. Гамма-спектрометри складаються з напівпровідникових або сцинтиляційних детекторів, комп'ютерної системи з програмним забезпеченням та обладнання для друку.

Для *детекції іонізуючого випромінювання* використовують флуороскопічні екрани, сцинтиляційні кристали, радіаційні електронно-оптичні перетворювачі, електронно-оптичні підсилювачі яскравості і рентгеновідікони.

					НУЦЗУ. 2.19-37.СХ та ХТ. РПЗ-02	Лист
						16
Зм	Лист	Підпис	№ докум	Дата		

Таблиця 1.1. Типи та характеристики деяких дозиметрів та радіометрів

Дозиметр	Одиниця вимірювання	Призначено для вимірювання:
Дозиметр-радіометр МКС-05 «Терра» 	мкЗв/год	потужності амбієнтного еквівалента дози та дози Н*(10) γ-випромінювання; густини потоку β-часток; виявлення радіоактивності грошових знаків.
СРПС-04 «Дозор» 	мкЗв/год	визначення та сигналізації перевищення сумарного рівня гамма- та нейтронного випромінювання та ПЕД над рівнем фону.
Вимірювач потужності дози ІМД-5 	Рад/год	потужності поглиненої дози гамма-випромінювання в широкому діапазоні
Вимірювач потужності ДП-5В 	0,05 мРад/год до 200 Рад/год	рівнів гамма-радіації та радіоактивної зараженості різних предметів на гамма-випромінювання.
Дозиметр-радіометр МКС-1-Е 	мкЗв/год	Вимірювання амбієнтної дози та потужності амбієнтної дози фотонного випромінювання, для вимірювання щільності потоку бета-часток та для оцінки щільності потоку альфа-частинок від забруднених поверхонь.
Дозиметр ДКГ-21 Eco-test CARD 	мкЗв/год	потужності еквівалентної дози та індивідуального еквівалента дози γ-випромін.; годинник, будильник.
Дозиметр-радіометр універсальний МКС-У 	мкЗв/год	Вимірювання потужності амбієнтного еквівалента дози, дози та часу накопичення дози гамма- та рентгенівського випромінювань; поверхневої густини потоку частинок β-випромінювання.
Універсальний спектрометричний комплекс «Гама Плюс» 	Спектр γ та β-випромінювань: ¹³⁷ Cs, ²²⁶ Ra, ²³² Th, ⁴⁰ K, ⁹⁰ Sr + ⁹⁰ Y	Вимірювання питомої активності γ та β-випромінюючих нуклідів у зразках у лабораторних умовах - у продуктах харчування, біологічних пробах та об'єктах навколишнього середовища.

Зм	Лист	Підпис	№ докум	Дата

1.4 Організація контролю радіаційного стану середовища

Використання джерел іонізуючого випромінювання збільшує природню дозу опромінення населення. В результаті контрольованих викидів середня доза опромінення, яку отримують люди, відповідає міжнародно визнаними нормам. Ці стандарти встановлюються на рівні, нижчому за середнє природнє опромінення.

Наразі в Україні встановлені такі нормативні документи щодо радіаційного захисту: «Норми радіаційної безпеки України» [4], «Основні санітарні правила забезпечення радіаційного захисту населення України» [5], «Загальні положення про радіаційний захист від джерел іонізуючого випромінювання в медицині» [6, 7], «Про встановлення основних норм безпеки для захисту від впливу іонізуючого випромінювання» [8]. До нормативно-правової бази з питань дотримання радіаційної безпеки також можна віднести: «Рекомендації Міжнародної комісії з радіологічного захисту 1990 року», міжнародні норми радіаційного захисту від іонізуючого випромінювання та безпечного поводження з джерелами іонізуючого випромінювання, досвід забезпечення радіаційної безпеки в атомній енергетиці та промисловості, аналіз наслідків аварії на Чорнобильській АЕС.

Для забезпечення радіаційної безпеки враховують вимоги щодо використання джерел іонізуючого випромінювання та дотримуються певних принципів організації відповідних робіт: 1) контроль опромінення людини з метою не перевищення допустимих значень доз опромінення та інших контрольованих параметрів радіаційного захисту; 2) заборона діяльності, яка потребує використання іонізуючих випромінювань, якщо існує ризик заподіяння шкоди людині або навколишньому середовищу.

На Україні на даний час працює принцип безпечного обігу джерел іонізуючих випромінювань, який також запобігає виникненню «покинутих джерел» та полягає у необхідності отримання дозволу на використання цих джерел (фізичні та юридичні особи повинні довести, що вони можуть гарантувати безпеку та захист при використанні даного джерела) з одночасним обліком та контролем їх використання. Так, державна служба ядерного нагляду та інспекції України має право видавати ліцензії на окремі види діяльності, пов'язані з використанням радіоактивних матеріалів та джерел іонізуючого випромінювання. Відповідно до Закону України «Про дозвільну

					НУЦЗУ. 2.19-37.СХ та ХТ. РПЗ-02	Лист
						18
Зм	Лист	Підпис	№ докум	Дата		

діяльність у сфері використання ядерної енергії» [9, 10], державна реєстрація кожного джерела іонізуючого випромінювання є обов'язковою та здійснюється облік і контроль за місцезнаходженням та переміщенням цього джерела.

Держатомрегулювання обмежує строк зберігання відпрацьованих джерел іонізуючого випромінювання як 6 місяців та встановлює вимоги до подальшого поводження з ними. Тому, коли організація починає використовувати відповідне джерело, вона повинна або сплатити збір до фонду поводження з радіоактивними відходами та гарантувати його безкоштовне вилучення та захоронення професійною організацією, або укласти договір щодо зобов'язання від постачальника отримати це джерело після закінчення терміну його використання.

В Україні основну увагу приділяють фізичному обстеженню, оскільки історично існував суворий адміністративний контроль за розповсюдженням джерел іонізуючого випромінювання. Фізичне дослідження означає, що відповідальний інспектор вивчає зовнішній вигляд і характер випромінювання зареєстрованого джерела.

Джерела іонізуючого випромінювання мають небезпеку потрапити до металобрухту, оскільки містяться в масивних металевих контейнерах. У цьому випадку існує ризик подальшого розплавлення об'єкту, що призведе до значного радіоактивного забруднення. Питання «покинутих джерел» є глобальною проблемою, невирішеним елементом якої є терористичний акт або військові дії в місці, де використовувалося певне джерело. У світі для вирішення проблеми «покинутих джерел», які втратили відповідального власника, було створено міжнародну програму за участю організацій США та Німеччини, які займаються вилученням джерел іонізуючого випромінювання з об'єктів та їх безпечною доставкою до спеціалізованих компаній. У міжнародній практиці для вирішення проблеми «покинутих джерел» також використовується «Іспанський протокол про співробітництво в галузі радіаційного контролю металевих матеріалів» [11], який передбачає для металургійних підприємств невеликий щорічний внесок до відповідного фонду, що звільняє їх від витрат на поводження з «покинутими джерелами».

В Україні пошук покинутих радіоактивних джерел здійснюється пасивним способом, активно очікуючи на прибуття радіоактивного джерела до запланованого

пункту пропуску. Однак у документі «Консультації щодо підвищення безпеки поводження з джерелами іонізуючого випромінювання в Україні» зазначено, що за відсутності руху транспорту найефективнішим методом є активний пошук, оскільки пасивний пошук не дає змоги знайти джерело [12].

Для активного пошуку мобільна радіаційна лабораторія СОННІ обладнана детекторами гамма-випромінювання. Постанова Кабінету Міністрів України №813 від 2 червня 2003 року покладає фінансову відповідальність на місцеві органи влади у разі виявлення незареєстрованих радіоактивних джерел без власників [13].

Пасивна система пошуку джерел іонізуючого випромінювання в Україні є багатогранною і складається з елементів радіаційного контролю на різних етапах їх можливого переміщення: 1) кордони, 2) підприємства, 3) пункти прийому металобрухту, 4) металургійні підприємства (згідно з Наказом Міністерства № 183 від 18 листопада 2011 року, фахівці підприємств зобов'язані перевіряти безпеку вибухів металобрухту та перевіряти радіаційний фон [14]).

Україна має спеціалізовані підприємства (ДМСК) [15] для оперативного реагування у разі виявлення покинутих радіоактивних джерел та їх доставки до контрольованих сховищ, ізольованих від навколишнього середовища та доступу населення.

Найбільш небезпечними на Україні об'єктами з використанням радіаційно небезпечних технологій є АЕС. На всіх атомних електростанціях впроваджені наступні технічні та організаційні заходи для мінімізації негативного впливу радіації на людину і навколишнє середовище: глибокий захист численними бар'єрами проти розповсюдження радіоактивних матеріалів; впровадження спеціалізованих систем безпеки та управління порушеннями нормальної експлуатації, які можуть бути захищені за допомогою резервування та без втручання людини; використання систем контролю і моніторингу технічних процесів і радіологічних умов, заснованих на принципах резервування і високої надійності технічних заходів; забезпечення безпеки від екстремальних природних явищ техногенних впливів з врахуванням ймовірності виникнення такої події один раз на 10000 років; впровадження технологічних рішень з контролю за утворенням радіоактивних відходів та систем переробки для налагодження циклу обігу певних матеріалів; переробка викидів, забруднених радіоак-

					НУЦЗУ. 2.19-37.СХ та ХТ. РПЗ-02	Лист
						20
Зм	Лист	Підпис	№ докум	Дата		

тивними речовинами, та запобігання їх неконтрольованому потраплянню в навколишнє середовище.

Рівні радіоактивного забруднення контролюються автоматичними системами контролю радіоактивності (АСКР), встановленими на всіх джерелах рідких та газоподібних викидів, а також шляхом лабораторного аналізу проб. Автоматична система радіаційного контролю була розроблена за програмою МАГАТЕ і призначена для безперервного контролю радіаційного стану під час усіх режимів функціонування даної АЕС, її санітарно-захисній зоні та у зоні спостереження (30 км) АЕС. Система здійснює моніторинг радіаційного стану на території площею 3000 км².

АСКРС - це складний кластер автоматичних станцій радіаційного контролю в зоні спостереження: 16 станцій на майданчику Рівненської АЕС та 13 станцій в санітарно-захисній зоні та в зоні спостереження РАЕС [16]. Станції моніторингу вимірюють гази та аерозолі, що викидаються з усіх вентиляційних труб АЕС, рідкі викиди з АЕС, потужність дози, концентрацію йоду та аерозолів у промислових та житлових зонах поблизу АЕС. Центральна станція моніторингу системи містить також два метеорологічних комплекси, інформація з яких передається до програмного комплексу, який дозволяє оперативно прогнозувати радіаційну обстановку в зоні спостереження АЕС. Задіяно дві мобільні станції моніторингу на автомобілях підвищеної прохідності. Ці станції оснащені повним набором приладів для моніторингу, відбору проб, польових вимірювань і автономної роботи радіологічних, хімічних і метеорологічних параметрів, визначення польових координат і передачі даних через супутникові канали зв'язку. Ці станції можуть виконувати автономні дослідження в будь-якій точці 30-кілометрової зони спостереження АЕС, а також допомагати в радіологічній та інших видах розвідки на інших АЕС України. Інформація з системи передається керівництву РАЕС, НАЕК «Енергоатом» та Держатомрегулювання, обласній державній адміністрації Рівненської області та обласному управлінню ДСНС.

					НУЦЗУ. 2.19-37.СХ та ХТ. РПЗ-02	Лист
						21
Зм	Лист	Підпис	№ докум	Дата		

РОЗДІЛ 2. НАПРЯМКИ ВИКОРИСТАННЯ ІОНІЗУЮЧИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ

2.1. Основи використання радіоактивних джерел у технологічних напрямках

Основними радіаційними впливами для здійснення опромінення є гамма-, бета- та рентгенівське випромінювання. Деякі інші джерела іонізуючого випромінювання використовують у медицині та радіаційній хімії.

Радіонуклідний склад продуктів поділу різноманітний і залежить від часу опромінення, динамічної рівноваги утворення, горіння та альфа-розпаду. Гамма-випромінюючі нукліди містять переважно штучні радіоактивні елементи у вигляді порошків або твердих речовин у герметичних сталевих ампулах. Такі гамма-апарати виробляються для радіаційних досліджень у різних галузях (хімія, біологія, фізика твердого тіла, сільське господарство, харчова, легка промисловість тощо). Перевагами ізотопів є простота використання, натомість прискорювачі електронів мають високу інтенсивність опромінення, керованість і повну безпеку після вимикання.

Джерела іонізуючого випромінювання розташовують у металевих контейнерах з товстими стінками, що ускладнює перевірку наявності радіоактивних джерел всередині за допомогою відповідного обладнання. Так, у гамма-терапевтичному апараті «ЛУЧ-1» знаходиться збіднений уран, кобальт-60 (радіоактивність 4800 Ки) [7].

Технологічно корисними властивостями іонізуючих випромінювань є різна здатність впливати на різні біологічні об'єкти, здатність проникати на певну глибину речовини, помітність ізотопів у масі не активного матеріалу, здатність засвічувати певні фотографічні матеріали, здатність до іонізації молекул та атомів, можливість точкового отримання більшої густини опромінення, можливість отримання позитивного енергетичного ефекту ядерних реакцій та ін.

Технологічно небезпечними властивостями радіаційних технологій є здатність пошкоджувати біологічні об'єкти та речовини, якщо інтенсивність опромінення або час впливу перевищує критичний рівень; небезпека виходу ядерної реакції з під контролю; виникнення наведеного випромінювання; поширення радіоактивно забрудненої хмари на значні відстані; великі часи напіврозкладу радіонуклідів забрудню-

					НУЦЗУ. 2.19-37.СХ та ХТ. РПЗ-02	Лист
						22
Зм	Лист	Підпис	№ докум	Дата		

ють території на значний час, накопичення дози опромінення організмом різних чинників тощо [17, 18].

2.2. Типові напрямки використання радіоактивних джерел для опромінення

Розглянемо типові напрямки використання радіаційної обробки у народному господарстві.

У *сільському господарстві* – радіаційну обробку використовують для дезінфекції та дезінсекції продуктів тваринництва для запобігання псуванню, самонагріванню та мікробіологічному самозайманню. Радіаційна обробка дозволяє підвищити ефективність таких заходів до 100 % при повному часі обробки та витримування для безпеки використання – 1 доба. Обробку проводять іонізуючим випромінюванням (γ -(^{60}Co) або електронним пучком) перед завантаженням в елеватори чи інші сховища. Доза радіаційної дезінсекції 0,1–0,2 кГр викликає негайну статеву стерилізацію і поступову загибель комах і кліщів протягом 10–15 діб, а при дозах 1,0 кГр викликає негайну загибель. Для дезінсекції 0,2–0,3 кГр не змінює харчові і кормові якості зерна, але знижує його схожість, тому насіннєве зерно оброблюють меншими дозами, що навпаки – підвищує схожість, врожайність та використовується для селекції.

У світі використовують чотири основних напрямки використання радіаційної обробки в аграрному секторі [19]: 1) обробка імпоротної потенційно небезпечної продукції для безпеки власних громадян, тваринництва, рослин від вірусів і бактерій; 2) обробка продукції для забезпечення її збереження. 3) обробка продукції, що йде на експорт; 4) опромінення посівного матеріалу.

Радіаційна обробка в *харчовій галузі* також використовується для знищення ряду патогенних бактерій, з метою стерилізації продуктів, пастеризації та збільшення терміну зберігання. Це до 40% знижує втрати продуктів, зменшує залежність від використання хімічних пестицидів і консервантів, знижує можливість самозаймання насипних продуктів.

У біології та *медичній галузі* використовують ізотопи, які розпадаються з утворенням β^- або β^+ та γ -випромінювання. Крім того, у медицині радіоактивні випромінювання використовують для рентгеноскопії [20], радіометрії, стерилізації інструме-

					НУЦЗУ. 2.19-37.СХ та ХТ. РПЗ-02	Лист
						23
Зм	Лист	Підпис	№ докум	Дата		

нтів, знищення мікробів і пригнічення росту злоякісних пухлин [7]. У радіохірургії γ -ніж дозволяє робити операції в порожнині черепа без розрізів. Так, для сцинтиграфія кісток використовують ^{99m}Tc -МДФ(MDP) з зарядом 400-600 МБк; для сцинтиграфії органів – ^{51}Cr -ЕДТА з зарядом 300 кБк; для мітки еритроцитів – ^{99m}Tc , 3–10 МБк; ^{125}I ; для діагностики пухлин – ^{32}P .

Поширені засоби радіаційної *дефектоскопії у техніці*. Такі технології забезпечують якісний комплексний неруйнівний контроль для визначення зносу поршневих кілець, детектування зародження тріщин, дослідження масообміну в доменних печах, діагностики дефектів металевих виливків або тонких матеріалів, встановлення якості зварних швів, визначення товщин сталевих листів. Нейтронна радіографія надає можливість роздільного контролю хімічних компонентів матеріалу.

У *хімічній промисловості* радіаційна хімія використовує процеси в речовині під дією іонізуючих випромінювань (рентгенівські промені, γ -промені, короткохвильове випромінювання оптичних частот, струмені електронів, протонів, α -частинок, уламків важких ядер і ін.). Для ініціації певних хімічних процесів енергія радіаційного впливу повинна перевищувати іонізаційний потенціал атомів або молекул (10–15 еВ). Для реакцій активних частинок між собою або з неактивними молекулами енергетичний бар'єр виявляється значно зменшеним. Реакції радикалів з молекулами мають енергією активації в 21–42 кДж/моль. Тому радіаційно ініційовані хімічні реакції протікають дуже швидко навіть за низьких температур (нижче $-200\text{ }^\circ\text{C}$) і на відміну від звичайних реакцій їх швидкість мало залежить від температури.

Так, шляхом опромінення зв'язують атмосферний азот повітря за стандартних температур, утворюють озон, а також розкладають CO_2 до CO , воду на H_2 та O_2 , аміак – на H_2 і N_2 , H_2O_2 – на O_2 та H_2O тощо. Проводять окиснення вуглеводнів киснем повітря з отриманням компонентів мастил, мийних засобів та ін., полімеризацію органічних мономерів з отриманням різноманітних полімерів. Існують режими радіаційної обробки полімерів, які поліпшують їх фізико-хімічні властивості, в тому числі термічну стійкість. За радіаційного опромінення отримують світлі вуглеводні з нафти.

					НУЦЗУ. 2.19-37.СХ та ХТ. РПЗ-02	Лист
						24
Зм	Лист	Підпис	№ докум	Дата		

Також радіаційна хімія вивчає пов'язані виробництва паливних елементів для ядерних реакторів, такі як радіоактивне розчинення води, радіоактивні зміни в розчинах і матеріалах для ядерної інженерії, реакції газоподібних компонентів у повітрі.

Але використання радіоактивних джерел спричиняє проблему «покинутих джерел». Так, у місті Гоянія, Бразилія, у 1987 році радіотерапевтичне обладнання, що містило радіоізоотоп цезій-137, опинилось на звалищі, де його розібрали місцеві мешканці. В результаті чотири людини померли від радіоактивного опромінення, а територія, де знаходилося джерело, повинно бути незаселеною наступних 300 років.

2.3 Застосування іонізуючих випромінювань для обробки харчових продуктів

У сільському господарстві та харчовій промисловості існує проблема, пов'язана з необхідністю тривалого зберігання відповідних продуктів, оскільки розмноження мікроорганізмів та комах у їх середовищі призводить до їх псування, водночас виділяється тепло у купі матеріалу та можливе виникнення самовільного виникнення горіння. Тому необхідне знезараження продуктів тваринництва. Певних успіхів у боротьбі за якість сільськогосподарських продуктів надає підтримання жорстких умов зберігання – низьких температур та вологості. Також проводять хімічну обробку продуктів, після якої необхідно запровадження часу витримування для безпеки перед подальшим використанням – до 45 днів, але ефективність такої обробки становить близько 50 %.

На даний час у світі активно впроваджують радіаційну обробку продуктів, що підвищує ефективність таких заходів до 100 % при зменшенні часу очікування після обробки до 1 доби. Обробку проводять іонізуючим випромінюванням шляхом дії на продукцію γ -джерела ^{60}Co або електронного пучка перед завантаженням в елеватори чи інші сховища. Доза радіаційної дезінсекції 0,1–0,2 кГр викликає статеву стерилізацію і поступову загибель комах і кліщів протягом 10–15 діб, а при дозах 1,0 кГр – негайну загибель. Дози дезінсекції 0,2–0,3 кГр не змінюють харчові і кормові якості зерна, але знижують його схожість, тому насінневе зерно оброблюють меншими дозами, що навпаки – підвищує схожість, врожайність та використовується для селекції.

					НУЦЗУ. 2.19-37.СХ та ХТ. РПЗ-02	Лист
						25
Зм	Лист	Підпис	№ докум	Дата		

У світі використовують чотири основних напрямки радіаційного впливу в аграрному секторі: 1) обробка імпоротної потенційно небезпечної продукції для безпеки від сторонніх вірусів і бактерій; 2) обробка продукції для забезпечення її зберігання. 3) обробка продукції, що йде на експорт; 4) опромінення посівного матеріалу.



Рис.2.1. Принципова схема обробки збіжжя потоком бетта-випромінювання

Міжнародна комісія «FAO/WHO 1980» встановила, що використання радіаційної обробки у встановлених для кожного продукту оптимальних режимах є самим нешкідливим способом консервації. Така обробка здійснюється відповідно до Міждержавного стандарту ISO 14470-2014 [28], який поширюється на процеси опромінення з використанням радіонуклідів ^{60}Co , ^{137}Cs , генераторів електронних пучків, рентгенівських джерел.

У 1981 році Міжнародний експертний комітет опублікував висновки про безпеку харчових продуктів, які зазнали опромінення в 10 кГр (кДж/кг). У 1983 році Міжнародна комісія FAO / BOOЗ затвердила звід харчових міжнародних стандартів і правил для опромінення продуктів харчування в межах до 10 кГр. Протягом 1983-1990 рр. були затверджені національні стандарти (США, Канада, Франція і ін.). Укладені угоди про радіаційну обробку спецій, фруктів, м'яса, а також застосування опромінення для стерилізації комах. У 1988 році FAO, BOOЗ, МАГАТЕ і СОТ уклали Міжнародну торгову угоду про торгівлю продуктами харчування, які пройшли радіаційну обробку. У 1993 році Американська медична асоціація (АМА) винесла

висновок про безпеку і збереження поживних властивостей опромінених продуктів і напоїв.

Обробка прискореними електронами не може зробити їжу радіоактивною, оскільки вони не мають достатньої енергії для взаємодії з ядром атома. Тому такі продукти безпечні для вживання. Органолептичні властивості і харчова цінність не змінюються за дотримання режимів обробки. Вживані норми опромінення встановлено після 35-річного тестування, вони прийняті на світовому рівні в 1983 році і строго контролюються Всесвітньою організацією охорони здоров'я, продовольчої та сільськогосподарської організації ООН і МАГАТЕ. Після обробки ніяка хімічна, термічна обробка або інші методи, що змінюють склад і властивості продукту, вже не потрібні.

Дози опромінення близько 10 кГр викликають загибель більшості видів мікроорганізмів, тому їх застосовують для консервації продукції та подовження термінів зберігання. Гальмування життєдіяльності мікроорганізмів з метою подовження термінів зберігання харчових продуктів – радурізація потребує доз опромінення до 4 кГр. Повне знищення мікроорганізмів, у тому числі більш стійких, (радаптерізація) потребує ще більших доз опромінення до – 50 кГр. Більші дози за рахунок радіаційного руйнування викликають утворення продуктів окиснення, зміну кольору та смакових якостей продуктів, тому не рекомендуються до застосування. Для радіаційно оброблених продуктів застосовують міжнародне маркування продуктів логотипом «Radura-logo», рис. 2.2., з поміткою «Treated with ionizing energy», «Treated by irradiation» або «Treated with radiation».



Рис.2.2. Логотип «Radura-logo» для позначення радіаційно-оброблених продуктів

РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ РІШЕНЬ ПРОБЛЕМИ ТРИВАЛОГО ЗБЕРІГАННЯ МАТЕРІАЛІВ РОСЛИННОГО ПОХОДЖЕННЯ

Скупчення твердих матеріалів рослинного походження є поширеним способом їх зберігання або природним варіантом їх утворення. Це можуть бути сховища з одягом, силоси зі збіжжям, стоги сіна, купи листя або сміття, торф'яники тощо. З часом у цих системах речовина псується, особливо за умов вологості, та водночас відбувається утворення та накопичення тепла певних біохімічних процесів, джерелом яких може бути життєдіяльність колоній комах або мікроорганізмів. Зазвичай для технологічно важливих об'єктів, де зберігаються рослинні матеріали здійснюється контроль температур або контроль зміни складу газів, що утворюються. Водночас необхідно здійснювати вхідний контроль за станом (в першу чергу за вологістю) матеріалів, що складуються, та за умовами зберігання. У гіршому випадку недотримання цих заходів призводить до самовільного виникнення, що виникає спочатку всередині купи у вигляді тління.

Для операторів перевезення органічного сміття існує інструкція, за якою, водій та персонал повинні стежити за можливим збільшенням температур у контейнері та за ознаками появи диму. За таких обставин сміттєвіз вивалює сміття негорючу відокремлену площадку та викликати службу ДСНС для гасіння осередку самонагрівання або самозаймання. Вивалювання збіжжя з силосу також є типовою дією на реєстрацію самонагрівання або перезавантаження силосу проводять незалежно від моніторингу раз на місяць. Систему з парних силосів продемонстровано на рис.3.1.

Означені процеси спричиняють близько 450 вибухів на рік газоподібних продуктів розкладання матеріалів [1]. Але життєдіяльність колоній комах та аеробних мікроорганізмів, подальші процеси адсорбції та окиснення потребують наявності кисню. Тому у практичних заходах з попередження таких процесів використовують різні засоби зменшення кількості повітря в об'ємі матеріалу, наприклад, шляхом продувки продуктами повного згоряння.

На даний час доцільність зберігання зерна в металевих силосах ставлять під сумнів, оскільки в них на стінках відбувається конденсація вологи, зерно або боро-

шно злежується, ускладнене вентилявання силосу, що погіршує якість зберігання. Тому силоси повинні бути сухими, чистими, з забезпеченою вентиляцією, захищені від різних шкідників, атмосферних опадів, вологи. Вентиляція силосам вкрай необхідна, але при цьому на його внутрішніх стінах конденсується волога, що погіршує умови зберігання. Відповідно, впроваджують засоби для осушування повітря, яке поступає, та внутрішнього – у силосі.



Рис. 3.1. Система з парних силосів для можливості перезавантаження

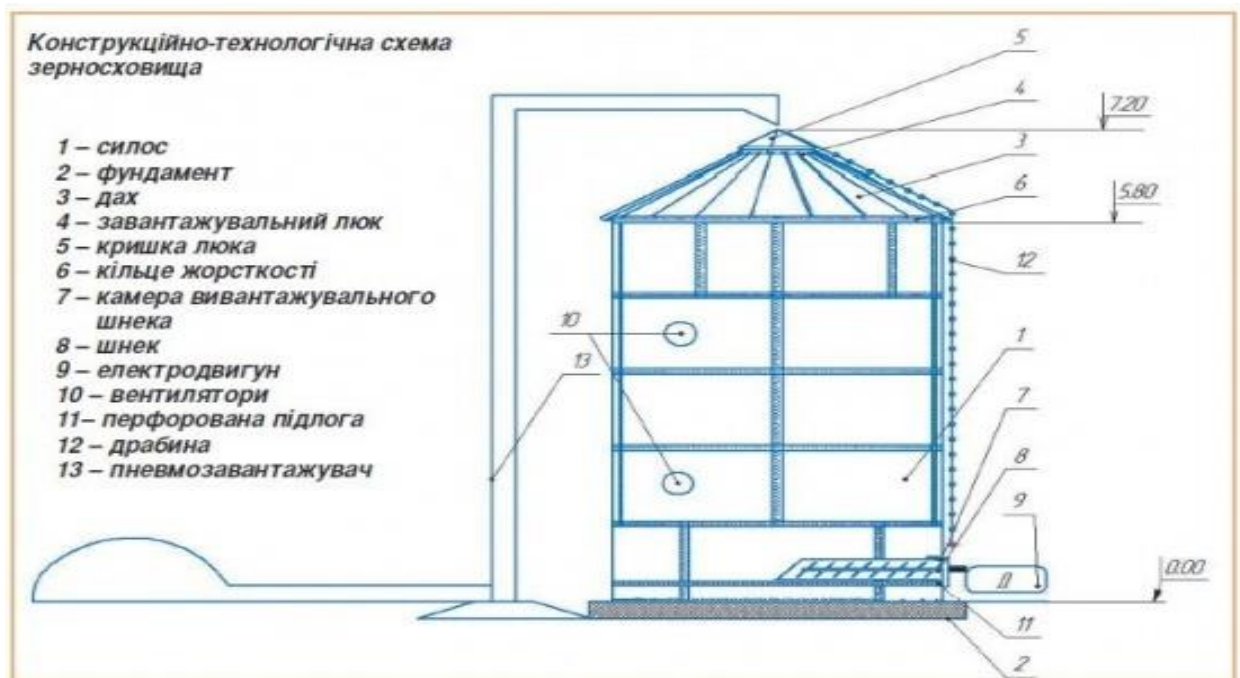


Рис. 3.2. Конструкційно-технологічна схема силосу

Зм	Лист	Підпис	№ докум	Дата

Сталеві силоси являють собою циліндр на фундаменті висотою від 12 до 30 м та діаметром від 5 до 30 м. Сталева оцинкована гофрована стінка має товщину до 4 мм з висотою ребер до 60мм. Сталеві силоси набагато легші за бетонні, але сильніше гріються на сонці, що спричиняє виникненню конденсату.

Але застосовані на даний час заходи (сушіння, розкидування, продувка неголючими газами, хімічна обробка) недостатньо ефективні. Тому для подовження строків зберігання рослинних матеріалів зараз застосовують іонізуюче опромінення, але для попередження самозаймання вживання таких заходів не розроблено.

3.1 Стан та тенденції у галузі подовження зберігання рослинних матеріалів

У сучасному світі спостерігається нестача харчових ресурсів і при цьому до 30% їх обсягу втрачається внаслідок проблем у зберіганні. Проблема виникає в першу чергу внаслідок їх контамінації (зараження) шкідливими мікроорганізмами або комахами. Тому проблема підвищення ефективності використання харчових ресурсів Організацією Об'єднаних Націй вважається однією з найважливіших – «проблема контамінації харчових продуктів є викликом для всього людства» [29]. Слід також зауважити, що у цих втратах не враховані ті, що виникають за зберігання фуражної продукції для тваринництва, таких як сіно та комбікорм. А це також є опосередкованим харчовим ресурсом людства. Означені втрати спричинені мікробіологічним гниттям, яке часто завершується самозайманням. Крім того, пожежі та вибухи внаслідок процесів самозаймання матеріалів рослинного походження викликають додаткові втрати матеріальних ресурсів та значні екологічні збитки.

Зберігання матеріалів рослинного походження має головну проблему у вигляді можливості їх псування, що може закінчитися самовільним загорянням та вибухом газів, що утворилися. Процеси псування матеріалів рослинного походження найбільш докладно вивчено у напрямку зберігання харчових продуктів. Типовими матеріалами, які потребують найдовших строків зберігання, а також зберігається найбільшими скупченнями, є збіжжя та борошно. Це пов'язано з сезонністю виробництва та можливістю зберігання насипом.

У збіжжя є два шляхи зберігання: дообробка та вентиляційне сушіння на вихідному підприємстві або обробка та зберігання на великих елеваторах. При цьому

					НУЦЗУ. 2.19-37.СХ та ХТ. РПЗ-02	Лист
						30
Зм	Лист	Підпис	№ докум	Дата		

сховище має бути обладнано холодильними системами, засобами очищення матеріалу, сушіння, вентилявання, а також мати можливість швидкого вивантаження у разі виявлення самонагрівання. Сушіння вентиляванням потребує близько тижня для партії. За сушіння тепловим потоком якщо помилитись з вологістю збіжжя, то можна його перегріти та зіпсувати, крім того, вологовіддача збіжжя за цикл сушарки становить 6 %, тому іноді доводиться сушити партію два рази [21]. При цьому на кубічний метр збіжжя за 6 годин сушіння витрачається 7000м³ нагрітого повітря. У разі сушіння теплими продуктами горіння їх частина поглинається зерном. Сушіння ж на сонці є не дуже ефективним та важко прогнозованим.

Втрата маси збіжжя відбувається через клітинні обмінні процеси за певних температурних умов, розмноження шкідливих мікроорганізмів та комах. Очищення збіжжя від бур'янів й інших рослинних залишків зменшує й його вологість, оскільки вологість свіжого збіжжя – 25 %, а бур'янів – 45 %. Очищення від наддрібних частинок також частково запобігає самонагріванню. На зберігання подається збіжжя з вологістю 13–14 % [21]. Досягнення вологості 10 % могло б припинити біохімічні процеси у матеріалі та розмноження шкідників, але така умова важко досягається, оскільки залишкове дихання зерна відбувається з утворенням вологи. Відсутність самонагрівання також досягається за підтримання температури зберігання менше 10 °С.

Більш вологим матеріалом під час збирання є сіно, тому його важче досушити до стану, достатнього для тривалого зберігання. Тому питання тривалого зберігання рослинного матеріалу без псування та самонагрівання ще остаточно не вирішене.

Зараз поширена хімічна обробка продуктів харчування фунгіцидами та інсектицидами для збільшення строків зберігання. Для обробки борошна застосовують діоксид хлору (E926) для відбілювання та знезараження, але при цьому втрачаються вітамін Е та жирні кислоти. Крім життєдіяльності мікроорганізмів до початку самонагрівання скупчень рослинних матеріалів може призвести розвиток колоній комах. Але, на відміну від мікроорганізмів, комахи можуть активно розвиватися й у сухому збіжжі. Тому застосовують хімічні препарати інсектицидно-фунгіцидної синергетичної дії [29]. Але багато з цих речовин, є небезпечними для людини, що викликає необхідність впровадження строків очікування перед використанням продукції.

					НУЦЗУ. 2.19-37.СХ та ХТ. РПЗ-02	Лист
						31
Зм	Лист	Підпис	№ докум	Дата		

Для запобігання псування збіжжя та супутніх процесів мікробіологічного самозаймання використовують процеси сушіння з метою зменшення вологості матеріалу до певного рівня. Використовують холодне вентилявання, обдув теплим повітрям або продуктами горіння. Також, розроблено автоматизоване сушіння збіжжя за умови дії надвисоких частот [30]. Запатентовано інший спосіб припинення життєдіяльності аеробних мікроорганізмів шляхом витискання повітря негорючим газом (CO₂) із скупчення матеріалу біологічного походження [31]. Також запобігання самозаймання здійснюють шляхом вентиляції скупчення рослинного матеріалу, наприклад зерна, продуктами горіння, які не містять вологи [32]. Але такий та інші типові методи обробляння не завжди здатні забезпечити необхідний рівень вологості. Крім того, під час зберігання рослинних матеріалів їх вологість може збільшуватись внаслідок природних процесів дихання.

Відомий спосіб зберігання рослинних матеріалів (збіжжя) на елеваторах, за яким пригнічують життєдіяльність мікроорганізмів шляхом послідовних стадій сушіння у сушарках та розташуванням у силосах з вентиляцією та продуванням негорючим газом згоряння палива, що не створює вологи, та попереджає виникнення самонагрівання [33]. У такий спосіб запобігають розвитку осередків тління й виникнення наступних вибухів. При цьому створюється вплив на аеробні мікроорганізми і дезінфекція рослинного матеріалу, але даний спосіб потребує застосування додаткових технологічних систем (сушарки, камери спалювання, продувні системи) та використання негорючого газу CO₂. Проте, застосування CO₂ обмежується, оскільки це сприяє парниковому ефекту.

Враховуючи недоліки існуючих засобів подовження строків зберігання сільськогосподарської продукції в світі зараз активно розвивається їх радіаційна обробка іонізуючим опроміненням.

Міжнародна комісія (FAO / WHO, 1980) встановила, що застосування іонізуючого опромінення для харчових продуктів у досліджених режимах є найменш шкідливим та технологічним з існуючих методів знезараження. Така радіаційна обробка значно знижує втрати продукції, підходить для будь-яких матеріалів рослинного та тваринного походження, знижує амортизаційні витрати, зберігає споживчі властивості.

					НУЦЗУ. 2.19-37.СХ та ХТ. РПЗ-02	Лист
						32
Зм	Лист	Підпис	№ докум	Дата		

3.2. Особливості зберігання дрібнодисперсних матеріалів рослинного походження

Типовим прикладом зберігання дрібно дисперсних матеріалів рослинного походження є зберігання борошна. Такі матеріали мають збільшену поверхню контакту з повітрям та поверхню для життєдіяльності мікроорганізмів, збільшену кількість повітря у спушеному матеріалі, кращі умови для накопичення тепла певних процесів, що може призвести до самовільного виникнення горіння. Крім того, такі матеріали можуть переходити у завислий стан з утворенням вибухонебезпечних концентрацій.

Таким чином, борошно містить велику кількість дрібних частинок, які втратили захисну оболонку, і тому його складніше зберігати, ніж збіжжя. Під час зберігання борошно піддається позитивним і негативним процесам, як біохімічним, так і мікробіологічним. До позитивних можна віднести дозрівання і відбілювання борошна. Борошно, яке використовується для випікання хліба відразу після якісного помелу зерна, має низькі якісні характеристики. Тісто з нього липке і швидко тоне, в результаті чого буханці виходять маленькими. Лише після певного періоду зберігання борошно набуває технічно необхідних властивостей. Покращення хлібопекарських властивостей борошна під час зберігання називається дозріванням.

У борошні під час дозрівання відбуваються фізичні, колоїдні та біохімічні процеси. Змінюються колір, кислотність, білково-протеїнові комплекси, вуглеводно-амілазні комплекси, вологість і вміст жиру в борошні. Гідроліз жирів відіграє важливу роль у підвищенні міцності борошна під час дозрівання. Ненасичені жирні кислоти, що утворюються під час цього процесу, змінюють фізичні властивості клейковини, зміцнюючи клейковину і тісто. При зберіганні свіжозмеленого борошна підвищується титрування і рівень активної кислотності. Однією з причин збільшення сили борошна в період дозрівання є зміна білково-протеїнових комплексів під впливом окислювальної дії, особливо кисню.

У пшеничному і житньому борошні, незалежно від типу і якості, відбувається процес відбілювання, коли пігменти (каротини і ксантофіли), що містяться в зернах, окислюються киснем повітря, що викликає знебарвлення.

Борошно інтенсивно дозріває за температурі 20–25°C і практично не помітно за температур до 0°C. Свіжозмелене борошно, що зберігається в мішках у неопалюваному приміщенні, досягає оптимальної хлібопекарської якості та повної зрілості за 1,5–2 місяці. Але за температур 20–25°C у борошні можуть активно розвиватися мікроорганізми та шкідники, що вимагає хімічної обробки.

Після тривалого зберігання (більше за 4 місяці) за температури більше за 15°C борошно стає гірким та набуває неприємного запаху, як у згірклої олії. Це відбувається через розщеплення жирів у борошні, які окислюються повітрям, що призводить до утворення кислот, які підвищують кислотність борошна. Борошно також може стати кислим через розмноження бактерій, які зброджують цукор з утворенням кислоти під час зберігання, або запліснявіти через активну діяльність грибків.

У більшості хлібопекарень борошно зберігається в силосних сховищах, які можуть бути відкритими або закритими, а зберігання може бути тарним та безтарним. Використання складів відкритого типу дозволяє зменшити капітальні інвестиції в будівництво. Переваги безтарного зберігання борошна: відпадає потреба в тарі (мішках), навантажувально-розвантажувальні та складські роботи можуть бути повністю механізовані та автоматизовані, покращуються гігієнічні умови транспортування та зберігання сировини, зменшуються втрати сировини при транспортуванні, можна використовувати трубопроводи для переміщення борошна, зменшуються виробничі площі під складські приміщення. Борошно транспортують партіями в мішках або автоборошновозами. Партія борошна – це борошно одного сорту і якості, вироблене з однієї і тієї ж пшеничної помольної суміші.

Борошно зберігається окремо від інших видів сировини. Склад борошна повинен бути сухим, опалювальним і мати ефективну вентиляцію. Підлога в сховищі повинна бути рівною, без тріщин і стійкою до механічних впливів, а стіни-гладкими, побіленими і бажано викладеними плиткою. Взимку температура в борошномельному складі повинна дотримуватися не нижче 8°C, а відносна вологість повітря не більше 75%. У контейнерному сховищі мішки з борошном однієї партії розміщують на полицях на висоті 15 см над підлогою для вентиляції. Мішки повинні бути складені в «банки», «п'ятірки» або «клітки» з вісьмома рядами для ручного штабелюван-

					НУЦЗУ. 2.19-37.СХ та ХТ. РПЗ-02	Лист
						34
Зм	Лист	Підпис	№ докум	Дата		

ня і 12 рядами для механічного штабелювання. Мішок борошна важить 50кг, а оббивного борошна – 55 кг. Для транспортування борошна повинні бути передбачені проходи: 0,8 м між штабелями на відстані більше 12 м один від одного, 0,5 м від штабеля до стіни, 3,0 м для електро- та 2,0 м для платформних навантажувачів.

Більша частина борошна в даний час зберігається без упаковки на закритих складах, де контейнери з борошном розміщені всередині основного виробничого приміщення або в спеціально відведеному місці, або на закритих складах за межами виробничої будівлі. Борошно вивантажується з верхньої частини силосу за допомогою компресора, встановленого на шасі вантажівки. Борошно може транспортуватися механічно, пневмотранспортом високого тиску (аерозольним) або пневмотранспортом низького і середнього тиску на склад або у виробничу зону.

Борошно, що надходить в мішках, подається в борошноприймач і за допомогою перемикача подається в силос. На опорах силосу встановлені датчики для вимірювання ваги борошна. Під силосом розташований живильник, з якого борошно за допомогою повітряного конвеєра подається на конвеєр борошна. Пройшовши через розвантажувальний фільтр, борошно потрапляє на просіювач, звідки шнековим транспортером подається до виробничого обладнання. У кінчній частині силосу встановлений вібратор, який руйнує порожнину і аерує дно силосу стисненим повітрям.

Під час тривалого зберігання борошно може нагріватися. Це дуже часто відбувається при зберіганні вологого борошна, особливо за високих температур (30-35°C), коли посилюється дихання борошна. Борошно з типовим вмістом вологи можна зберігати в силосах протягом 30 днів. Щоб запобігти агломерації та самозігріванню під час тривалого зберігання, борошно регулярно перевантажують з одного силосу в інший.

Безтарний спосіб зберігання дозволяє борошну швидше дозрівати. У борошні активніше протікають складні фізичні та біохімічні процеси, що сприяє поліпшенню його хлібопекарських властивостей. Цьому сприяє тісний контакт борошна з атмосферним киснем. Склади, в яких зберігається борошно, будь то в контейнерах або на сипом, повинні утримуватися в хороших гігієнічних умовах, щоб запобігти розвитку шкідників, таких як кліщі, жуки, метелики і гризуни.

					НУЦЗУ. 2.19-37.СХ та ХТ. РПЗ-02	Лист
						35
Зм	Лист	Підпис	№ докум	Дата		

Підготовка до виробництва борошна передбачає змішування кожної партії, просіювання та видалення металевих магнітних домішок. Кількість просіювальних ліній залежить від потужності та режиму роботи підприємства, кількості споживаного борошна так і кількості сортів борошна; млини з виробничою потужністю понад 45 тонн на добу повинні мати резервну просіювальну лінію. Виробнича лінія складається з просіювальної машини з системою уловлювання постмагнітних домішок, вагової машини з двома або трьома бункерами (вагову машину можна не встановлювати, якщо є стеблові ваги) і гвинтового конвеєра, який транспортує борошно до виробничого силосу.

Після сортування металевих магнітних домішок і промивання борошно потрапляє до силосу виробництва витратних матеріалів. Місткість цього силосу гарантує безперервну роботу тістомісильного обладнання протягом однієї-двох змін, зазвичай використовуючи 1–1,5 т борошна на агрегат.

Для борошна існують НКМПП і ВКМПП – нижня і верхня концентраційні межі поширення полум'я, відповідно. Тобто існує мінімальне і максимальне об'ємне (масове) співвідношення борошна у суміші з повітрям, які можна запалити від джерела запалювання з поширенням полум'я на всю суміш. Суміші, що містять кількість борошна у повітрі нижче НКМПП або вище ВКМПП, не можуть горіти: в першому випадку через нестачу горючого, а в другому – через нестачу окисника. Наявність незаймистих областей концентрації в речовинах і матеріалах дозволяє вибрати умови, що виключають можливість виникнення пожежі або вибуху при зберіганні, транспортуванні та використанні. Аерозолі (наприклад борошно) мають підвищений ризик вибуху та пожежі. Залежно від показника поширення полум'я порошки класифікуються як вибухонебезпечні або легкозаймисті: порошки з показником НКМПП менше 65 г/м^3 є вибухонебезпечними (у тому числі й борошняний пил), а з вищим показником НКМПП – пожежонебезпечними.

КМПП включено до стандартів і специфікацій для вибухонебезпечних газів, парів, пилоутворюючих газів, легкозаймистих рідин і твердих речовин, тоді як для пилу вказано лише НКМПП. Це пов'язано з тим, що високі концентрації пилу рідко зустрічаються на відкритих просторах, а пил будь-якої концентрації буде горіти

					НУЦЗУ. 2.19-37.СХ та ХТ. РПЗ-02	Лист
						36
Зм	Лист	Підпис	№ докум	Дата		

тільки в місцях, де присутні окисники. Гранично допустимі концентрації використовуються для визначення класифікації приміщень і зон за вибухопожежною та пожежною небезпекою, для розрахунку гранично допустимих вибухонебезпечних концентрацій газів, парів і пилу в повітрі на робочих місцях, які можуть бути джерелами займання, і для визначення заходів пожежної безпеки.

Речовина у стані пилу більш схильна до самозаймання – самовільного підвищення температури з виникненням горіння за відсутності джерела запалювання. Рослинні матеріали є дисперсними продуктами і в більшості з них часто відбуваються теплові процеси самонагрівання. Причиною є порушення технічних норм зберігання сировини, що може призвести до прискореного псування продукції та можливого загоряння. При цьому, через велику масу сировини, пожежа може швидко розвиватись та завдати серйозних матеріальних і соціальних збитків, які дуже складно ліквідувати. Характерною особливістю самонагрівання силосів є те, що вони ізольовані шаром рослинного матеріалу з низькою теплопровідністю і високою адсорбційною здатністю. В умовах підвищеної вологості, високої температури, забруднення та наявності маслянистих речовин починається процес самозігрівання, який протікає повільно, але накопичення тепла прискорює реакції окиснення та розкладання з досягненням горіння.

Існує взаємозв'язок між температурою та габаритними характеристиками місця зберігання речовини, схильної до теплового самозаймання. За наступними формулами можна оцінити мінімальну температурами самонагрівання та час індукції до самозаймання за цієї температури, і тління залежність температури середовища, за якої виникає самонагрівання, від питомої поверхні тепловіддачі та часу нагріву матеріалу можна виразити емпіричними рівняннями:

$$\lg t_c = A_p + n_p \lg S_{\text{пит}}, \quad (3.1)$$

$$\lg t_c = A_b - n_b \lg \tau_{\text{інд}} \text{ або } \lg \tau_{\text{інд}} = \frac{A_b - \lg t_{\text{сн}}}{n_b}, \quad (3.2)$$

де t_c – температура початку самонагрівання купи речовини за даних умов, °С;

$S_{\text{пит}}$ – питома поверхня тепловіддачі купи речовини, м⁻¹;

$\tau_{\text{інд}}$ – час до моменту виникнення самозаймання, години;

					НУЦЗУ. 2.19-37.СХ та ХТ. РПЗ-02	Лист
						37
Зм	Лист	Підпис	№ докум	Дата		

A_p, n_p, A_b, n_b – експериментальні константи Таубкіна для даної речовини [23].

Питома поверхня зразка показує у скільки разів зовнішня поверхня купи речовини відрізняється від її об'єму, що буде пропорційним інтенсивності тепловтрат:

$$S_{\text{пит}} = \frac{S_{\text{повн}}}{V}, \text{ м}^{-1}, \quad (3.3)$$

де $S_{\text{повн}}$ – повна зовнішня поверхня зразка, м^2 ; V – об'єм зразка, м^3 .

Для силосів які використовуються у сільському господарстві їх висота варіюється від 12 до 30 м, а діаметр від 5 до 30 метрів, що відповідає об'ємам від $235,5 \text{ м}^3$ до 21195 м^3 . Константи Таубкіна для житнього борошна становлять $A_p = 1,815$, $n_p = 0,235$, $A_b = 2,36$, $n_b = 0,13$. В таблиці 3.1 показано відповідні розрахунки.

Таблиця 3.1. Розрахунки умов теплового самозаймання силосів з житнім борошном

d, м	h, м	V, м^3	$S_{\text{пов}}, \text{м}^2$	$S_{\text{пов}}, \text{м}^{-1}$	$t_{\text{сн}}, \text{°C}$	$\tau_{\text{інд}}, \text{ГОД}$
5	12	235,5	188,4	0,8	61,9	23307,3
7	12	461,6	263,8	0,57	57,3	42819,91
10	12	942	376,8	0,4	52,7	81594,48
12	12	1356,48	452,16	0,33	50,5	113447,8
12	15	1695,6	565,2	0,33	50,5	113447,8
12	20	2260,8	753,6	0,33	50,5	113447,8
12	25	2826	942	0,33	50,5	113447,8
12	30	3391,2	1130,4	0,33	50,5	113447,8
15	30	5298,8	1413	0,27	47,9	169816,4
20	30	9420	1884	0,2	44,7	285647,5
25	30	14718,8	2355	0,16	42,5	427576,5
30	30	21195	2826	0,13	40,7	594496,4

На рис.3.3 наведено результати розрахунку температур самонагрівання для вказаного діапазону об'ємів силосів, що виявилось у діапазоні $40\text{--}60 \text{ °C}$.

Але за таких температур час індукції до теплового самозаймання становить 3–10 років (формула 3.2). Графічна залежність на рис.3.3 прогнозує температури самонагрівання житнього борошна за різних об'ємів зберігання та описується рівнянням:

$$t_{\text{сн}} = 11,9 \ln S_{\text{пит}} + 64,6, \text{ °C}. \quad (3.4)$$

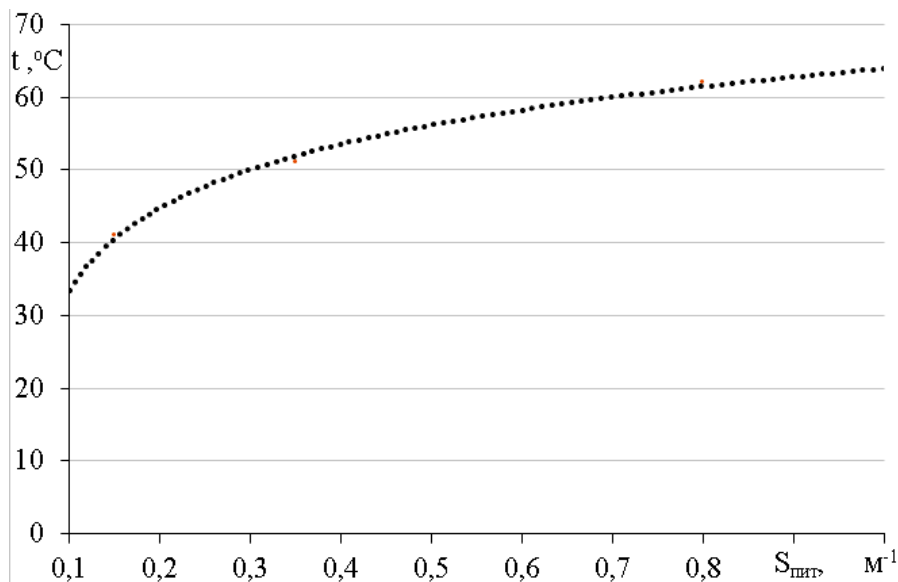


Рис.3.3. Температури самонагрівання для силосів з борошном житнім об'ємом від 235,5 м³ до 21195 м³

Температура у силосі може підніматися внаслідок сонячного опромінення у теплий період року. Вважають, що об'єкти незначного розміру можуть нагріватися за таких умов максимум до 50 °С. Більші температури борошно може отримати за рахунок мікробіологічного самонагрівання – до 70 °С (за більших температур більшість мікроорганізмів гине, але починається адсорбція з виділенням тепла). За температури 70 °С час індукції до теплового самозаймання зменшується до 1 року (формула 3.2). Але модель теплового самозаймання починає працювати з досягнення температури 130 °С, коли починають розкладатися геміцелюлоза та пероксидні комплекси. За такої температури час індукції зменшується до 78 діб (формула 3.2).

3.3. Стан та тенденції у галузі попередження самонагрівання матеріалів рослинного походження

Розглянемо механізми та умови, які можуть призвести до самовільного виникнення горіння скупчення твердого матеріалу. Самозаймання є видом виникнення горіння скупчень матеріалів, за якого накопичується тепло певних внутрішніх процесів, які самостійно загоряння не викликають, але ініціюють наступні процеси з виділенням тепла, в результаті чого досягається умова для виникнення тління або самоспалахування газів, які виділяються. Іноді для хімічного самозаймання усі реагенти екзотермічної хімічної реакції є негорючими, тоді загорятися можуть інші горючі

речовини, що контактують з даним осередком. Самозаймання є частою причиною виникнення пожеж під час зберігання вугілля, низки сільськогосподарських продуктів, фуражу, добрив та сміття рослинного походження. Самоспалахування, як ініціатор пожежі, спостерігається не часто, наприклад, розлив рідини на розжарену поверхню або запалювання пари нафтопродукту над дихальним пристроєм резервуару, який перегріто тепловим випромінюванням сусідньої пожежі.

Самозаймання твердих матеріалів можливо на будь-яких етапах поводження з ними, але частіше – під час їх зберігання або транспортування [22]. Відповідні процеси призводять до пожеж звалищ, на елеваторах, складах з вугіллям, фуражем, комбікормом, хімічними речовинами, торф'яниках, териконах тощо [23].

Всі види самозаймання (хімічне, фізичне та мікробіологічне) на певному етапі можна звести до четвертого виду – теплового самозаймання, коли температури вже достатньо до деяких процесів окиснення. При цьому також виділяється тепло і у разі більшого тепловиділення всередині системи за тепловтрати у зовнішній простір спостерігається продовження самовільного збільшення температури у системі. Для матеріалів рослинного походження за температури 450 °C процес переходить у тління. Існує певна температура речовини, за якої вже можливо накопичення тепла у купі певного розміру, її називають температурою самонагрівання ($t_{сн}$). Ця температура характеризує ступінь небезпеки зберігання речовин за даних умов. Так, якщо температура самонагрівання менша за 50 °C, то відповідні тверді речовини відносять до пірофорних (вважають, що цільний матеріал, або купа твердої речовини за природних умов влітку може нагрітися до 50 °C).

Чим більше скупчення твердого матеріалу, зберіганню якого властиві екзотермічні процеси, тим меншою буде температура самонагрівання та більшою ймовірність самозаймання. Подрібнення збільшує адсорбційну, реакційну поверхню, що інтенсифікує відповідні екзотермічні процеси і теж зменшує температуру самонагрівання. Крім того, у середовищі більш подрібненого матеріалу з малою теплопровідністю краще накопичується тепло. Цільні матеріали частіше до самозаймання не здатні. Рідини також не здатні до самонагрівання як цільний матеріал, який не має розвиненої поверхні, але тверді волокнисті матеріали (тканини, вата), просочені ре-

					НУЦЗУ. 2.19-37.СХ та ХТ. РПЗ-02	Лист
						40
Зм	Лист	Підпис	№ докум	Дата		

акційноздатними рідинами створюють умови для хімічного самозаймання. До реакційноздатних рідин відносять ненасичені органічні сполуки. Але частіше мають справу з рослинними оліями, частина складу яких становлять ненасичені гліцериди.

Для більшості досліджених речовин температура, яка спричиняє початок процесів теплового самозаймання, за якої починається самовільне зростання температури, не перевищує 150 °С [24]. Але за умов вологості внаслідок різних факторів ця температура значно зменшується, тому багато речовин можна класифікувати як пірофорні (вугілля, торф, сіно, збіжжя, сміття). Таким чином, матеріали рослинного походження відносяться до найбільш небезпечних, оскільки здатні до самонагрівання за звичайних умов зберігання.

Хімічні речовини, які відносять до пірофорних, мають енергію активації екзотермічної реакції менше, ніж 45 кДж·моль⁻¹ [25], накопичення тепла призводить до зростання температури, що різко збільшує швидкість хімічної реакції і самозаймання може статися за малий час індукції $\tau_{\text{інд}}$. Наприклад, для алюмінієвої пудри $t_{\text{сн}}=11$ °С, для торфу класу «В» $t_{\text{сн}}<40$ °С. Хоча частіше час індукції до самозаймання купи вугілля або рослинного матеріалу вимірюється тижнями. Але якщо для теплового та хімічного видів самозаймання існують чіткі методики розрахункового прогнозування температури самонагрівання, часу індукції або інших умов, то прогнозування фізичного та мікробіологічного самозаймання користується статистичними даними для певних матеріалів, що надає лише дуже приблизну оцінку. Тим більше для відповідних матеріалів актуальний температурний контроль температурного поля усієї купи речовини.

Крім температури самонагрівання, за якої ініціюється накопичення тепла певних процесів, та часу індукції до виникнення горіння в осередку, важливим параметром є «питома поверхня осередку» $S_{\text{пит.}}$, який показує здатність накупи накопичувати тепло. Так, поверхня тепловіддачі за збільшення розмірів купи зростає по квадратичному закону, а об'єм, водночас, – по кубічному.

Процес самонагрівання можна класифікувати як складний фізико-хімічний, який має стадії дифузії окисника, адсорбції, окиснення, утворення продуктів розкладання й окиснення, їх дифузія від зони реакції. За таких умов спостерігається непов-

					НУЦЗУ. 2.19-37.СХ та ХТ. РПЗ-02	Лист
						41
Зм	Лист	Підпис	№ докум	Дата		

не окиснення з утворенням вибухонебезпечних або токсичних концентрацій, виділенням парникових газів, що забруднює навколишнє середовище та створює додаткові небезпечні чинники [25].

Мікробіологічні процеси є найпоширенішими причинами самонагрівання матеріалів рослинного походження. Накопичення тепла цих процесів може спричинити самозаймання. Життєдіяльність мікроорганізмів активніше відбувається у вологому середовищі, що для збіжжя становить більше за 14 % вмісту вологи. Найпоширенішими матеріалами схильними до мікробіологічного самозаймання є наступні: збіжжя, сіно та торф, які раніше ми вже класифікували, як пірофорні. Живильним середовищем для мікроорганізмів стають матеріали, що містять крохмаль, білковину й вологу. Гниття цих матеріалів відбувається з виділенням теплоти біохімічних процесів. Позитивний тепловий баланс між накопиченням тепла та тепловтратами у навколишній простір й на випаровування вологи визначає виникнення самонагрівання. Осередки самозаймання виникають всередині купи у вигляді тління у зоні з малою теплопровідністю. Після розширення осередку тління до поверхні купи він запалює горючі газоподібні продукти розкладання рослинної сировини, що утворюються. При цьому спостерігається спалах або вибух, а надалі виникає дифузійне полум'я стаціонарної пожежі. Для контролю виникнення самонагрівання за об'ємом силосу точки вимірювання температури розташовують кожні 2 метри.

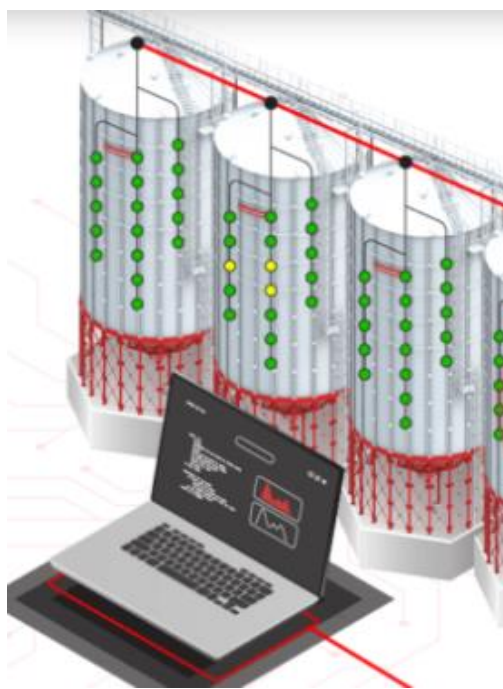


Рис.3.4. Контроль температур в об'ємі силосу

Зм	Лист	Підпис	№ докум	Дата

За статистикою, на підприємствах з обертанням та зберіганням борошна четверта частина загальної кількості вибухів відбувається внаслідок мікробіологічного самозаймання. Так, відомо, що частіше такі події мають місце на силосах елеваторів збіжжя та бункерах заводів з виробництва комбікорму. Вибухи спостерігаються часто за спроби вивантаження збіжжя з силосу, де помічено самонагрівання, або за обвалювання порожнин, що вигоріли.

Особливістю перебігу подій за мікробіологічного самозаймання матеріалів рослинного походження є те, що воно виникає вглибині великого скупчення та розвивається повільно, тому ззовні наявність таких процесів може бути ще не помітною. Тобто – осередок тління ще не наблизився до поверхні, а димові гази виділяються не інтенсивно і частково фільтруються, а частково розсіюються. Тління це окиснення пористого обвугленого залишку, який утворився за розкладання рослинного матеріалу. Вже за кімнатних температур цей вуглецевий залишок починає адсорбувати кисень повітря з виділенням тепла, далі тепловиділенням характеризується хемосорбція з утворенням комплексів, що стає початком процесів його окиснення.

Всі види самозаймання, крім теплового, мають первинні механізми тепловиділення, які виникають всередині системи: тепло хімічної реакції, адсорбція, тепловиділення біохімічних процесів. Надалі це тепло викликає розкладання певних речовин з початком окиснення продуктів розкладання та подальшим накопиченням тепла, що вже збігається з моделлю теплового самозаймання. Відмінністю буде лише те, що за теплового самозаймання увесь об'єм матеріалу має підвищену температуру, а вже потім тепло первинних процесів окиснення накопичується в певних осередках.

Самонагрівання матеріалів рослинного походження, що зберігаються за умов вологості відбувається через низку послідовних процесів. Спочатку накопичується тепло життєдіяльності мікроорганізмів та, за наявності, тепло клітинних процесів «дихання» збіжжя, може також додаватися тепло життєдіяльності колоній комах. За зростання температури починає утворюватися вуглецевий залишок. На ньому відбувається фізична адсорбція кисню повітря з виділенням тепла. Твердим речовинам властива кластерна будова [26]. За зростання температури адсорбований кисень зв'язується з поверхнею мікропор у вигляді кластерних надмолекулярних утворень також з виділенням тепла. Ці кластери перетворюються на нестійкі пероксиди, розк-

					НУЦЗУ. 2.19-37.СХ та ХТ. РПЗ-02	Лист
						43
Зм	Лист	Підпис	№ докум	Дата		

ладання яких супроводжується виділенням тепла, знов карбонового залишку та газів. Надалі ці газы окислюються, а тепло продовжує накопичуватися. За певної температури твердого вуглецевого залишку починається його більш швидке окиснення з появою осередків тління.

Якщо розглянути ці процеси більш докладно, то для целюлозовмісних рослинних матеріалів відбувається гідроліз до глюкози за умов вологості. Аеробні мікроорганізми спричиняють взаємодію глюкози з киснем повітря з виникненням продуктів повного окиснення: CO_2 та H_2O , а також з виділенням $2,82 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$ [1]. Можливе протікання й анаеробних процесів гниття з виділенням близько $0,1 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$. Частина цієї енергії використовується для клітинних процесів, але більша її частина шляхом дисипації переходить у нагрів матеріалу і може бути накопичена в теплоізолюваному шарі.

Підвищення температури середовища до $60 \text{ }^\circ\text{C}$ спричиняє загибель спочатку комах, а потім й більшої частини мікроорганізмів. Але при цьому починається первинна термічна деструкція нестійких сполук, що містяться в органічній сировині: пектинових, білкових та деяких інших хімічних з'єднань. За умов такого розкладання починає накопичуватись твердий нанопористий вуглецевий залишок. На цій мікропористій поверхні шляхом адсорбції накопичується багато газів, об'єм яких може у сотні разів перевищувати об'єм самого вуглецевого залишку [1]. Тобто цей процес схожий на конденсацію і так само є екзотермічним. Відомо, що адсорбований кисень має на порядок підвищену реакційну здатність. Тому він починає зв'язуватися з поверхнею шляхом хемосорбції з виділенням тепла та виникненням середовища з температурою $130 \text{ }^\circ\text{C}$. За досягнутої температури термодеструкція можлива й для деяких інших компонентів рослинної речовини, але вже з виділенням найпростіших негорючих та горючих газів, а також тепла. За досягнення температури осередку самонагрівання $200 \text{ }^\circ\text{C}$ термодеструкції підлягає вже клітковина, інтенсифікуються виділення горючих газів, накопичення твердого вуглецевого залишку та тепла. Вуглецевий залишок починає окислюватись. Всередині скупчення існує нестача кисню, тому чим більшими будуть реакційна поверхня та приплив повітря, тим швидше цей процес перейде у локальні осередки тління, які невдовзі можуть об'єднатися та утворити суцільний осередок тління. При їх контакті з горючою димоповітряною сумішшю можливе ви-

					НУЦЗУ. 2.19-37.СХ та ХТ. РПЗ-02	Лист
						44
Зм	Лист	Підпис	№ докум	Дата		

никнення або дифузійного, або кінетичного горіння.

Шляхи попередження мікробіологічного самозаймання визначаються процесами, які сприяють виділенню тепла на різних стадіях його розвитку: на першому етапі це теплота життєдіяльності на клітинному рівні; далі – це тепловиділення сорбційних процесів; на останньому етапі – теплоти окиснення продуктів розкладання речовини рослинного матеріалу.

Також, важливою складовою є умови, які забезпечують описані процеси. Мікробіологічному самозайманню сприяє зволоженість матеріалу, яка необхідна для забезпечення життєдіяльності мікроорганізмів; вид, густина та хімічний склад речовини рослинного матеріалу; наявність розвиненої поверхні в подрібнених матеріалах; наявність повітря в об'ємі скупчення та доступ повітря до місць адсорбційних та окислювальних процесів; наявність осередків з низькою тепловіддачею; достатня температура середовища; наявність органічних сполук з ненасиченими зв'язками, наприклад, гліцеридів у складі олій в рослинних матеріалах. Ці відмінності спричиняють різні вимоги до сушіння різного збіжжя для можливості його тривалого зберігання [1]: гречиха та кукурудза – 15 %, пшениця та ячмінь – 14 %, соняшник – 10 %, льон – 9 %. За неможливості досягти потрібний рівень вологості збіжжя зберігають за знижених температур, що гальмує як клітинні біохімічні процеси, так й життєдіяльність мікроорганізмів.

Інтенсивність окиснення матеріалів рослинного походження під час самонагрівання можна зменшити шляхом обмеження доступу повітря у скупчення або шляхом зменшення поверхні окиснення. Так, запобігання самонагрівання торфу після видобування досягають методами: гранулювання, ущільнення укладки; обприскування інгібіторами або антипіренами; забивання щілин крихтою торфу; накривання плівками; укладання на м'який ґрунт; не укладають нагрітий сонцем торф – чекають його охолодження; регламентують відстань до нагрітих об'єктів, обмежують габарити штабелів та відстані між ними; а також здійснюють контроль за зміною температур у штабелі. За самозаймання проводять штабель у місці самонагрівання розбирають або додатково ізолюють зовнішню поверхню штабелю мокрою крихтою торфу для охолодження осередку та ізолювання шляхів потрапляння повітря.

					НУЦЗУ. 2.19-37.СХ та ХТ. РПЗ-02	Лист
						45
Зм	Лист	Підпис	№ докум	Дата		

4. ЗАСТОСУВАННЯ ІОНІЗУЮЧИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ ДЛЯ ПОПЕРЕДЖЕННЯ САМОЗАЙМАННЯ РОСЛИННИХ МАТЕРІАЛІВ

4.1. Розв'язання проблеми мікробіологічного самонагрівання у контексті необхідності подовження строків зберігання матеріалів рослинного походження

Контамінація мікроорганізмами матеріалів рослинного походження призводить до їх псування, що іноді супроводжується значним самонагріванням. Відповідні процеси мають місце за зберігання збіжжя, сіна, торфу, сміття рослинного походження тощо. Ці матеріали потребують найбільших строків зберігання, а тому це важче забезпечити. Функціонування мікроорганізмів, як й бідь-яких організмів, характеризується вивільненням енергії хімічних речовин, причому лише менша її частина йде на потреби організму, а більша втрачається у навколишній простір. За умов для накопичення тепла це спричиняє самонагрівання, яке може закінчитися самозайманням з виникненням вибухів та пожежі. Це завдає матеріальних та екологічних збитків, а також створює небезпечні фактори для людини.

Мікробіологічні процеси призводять до псування матеріалів органічного походження, а одночасне самонагрівання стає частою причиною загорянь [1, 21, 23]. Поширеність проблеми розмноження шкідливих мікроорганізмів в матеріалах рослинного походження викликало необхідність пошуку різноманітних способів пригнічення життєдіяльності або знешкодження мікроорганізмів. Така дія запобігає як псуванню рослинного матеріалу, так й одночасному тепловиділенню мікробіологічних процесів. Тому оброблені матеріали як довше зберігають споживчі характеристики, так й не виявляють мікробіологічного самонагрівання. Тому шляхи вирішення проблеми подовження строків зберігання харчової продукції збігаються з напрямками профілактики самозаймання. Але на даний час такий взаємозв'язок не розглядають та вирішують ці питання окремо. Тому відповідні способи обробки не застосовують для обробки сіна, торфу та побутового сміття рослинного походження, як для подовження строків їх зберігання, так й для боротьби з мікробіологічним самонагріванням. Тому існує необхідність в адаптації режимів радіаційної обробки для профілактики мікробіологічного самозаймання матеріалів рослинного походження.

На даний час існує Міждержавний стандарт ISO 14470-2011 [28], який регла-

					НУЦЗУ. 2.19-37.СХ та ХТ. РПЗ-02	Лист
						46
Зм	Лист	Підпис	№ докум	Дата		

ментує обробку харчових продуктів шляхом дії радіонуклідів ^{60}Co , ^{137}Cs , β - та рентгенівського опромінення. Технологію обробки харчових продуктів іонізуючим опромінюванням використовують більш ніж 60 країн, а близько 40 країн використовують її широкомасштабно, але більшу частину ринку таких послуг надають Китай та США. Світовий обсяг радіаційно обробленої продукції наближається до 1000 тис. т. на рік. Для обробки рослинних матеріалів використовують β - і γ - джерела: прискорювачі електронів, рентгенівські трубки, радіоактивні ізотопи в герметичних сталевих ампулах, що відповідає міжнародному стандарту [28]. Радіаційно оброблену продукцію маркують як «Radura-logo».

Знезаражуюча дія радіації використовує іонізацію молекул у складі структури мікроорганізмів, що змінює їх нормальні біологічні процеси, тому життєздатність та можливість розмноження. Для припинення розвитку шкідливих мікроорганізмів впроваджено дози до 7,0 кГр. Дози іонізуючого опромінення близько 4 кГр дозволяють збільшувати строки зберігання, таку обробку називають радурізація. Дози близько 10 кГр спричиняють загибель більшості мікроорганізмів. Радаптерізація забезпечує повне знищення усіх мікроорганізмів за доз близько 50 кГр. Але такі дози викликають радіаційне руйнування органічних речовин та утворення продуктів радіаційного окиснення, тому рослинний матеріал втрачає споживчі характеристики.

Таким чином, обробка іонізуючим опроміненням харчових продуктів має як переваги, так і проблеми у впровадженні. Найбільша серед них – це необхідність значних заходів безпеки для роботи з джерелами іонізуючого випромінювання; контролю за змінами у стані білків, ліпідів, вуглеводів у складі біологічного матеріалу; контролю за радіаційною безпекою. Встановлено, що радіаційний вплив на жири молока зменшує їх доступність для засвоєння організмом людини. Так, дози опромінення до 7 кГр таку доступність не знижують, а понад 9 кГр – знижують [28].

Для радіаційного знезараження потрібні енергії достатні для розщеплення ДНК мікроорганізмів, але ще не достатні для виникнення наведеної радіоактивності. Наприклад, прискорені електрони не мають такого рівня енергії, а відповідно не взаємодіють з ядром атома. У промисловості використовують γ -установки з зарядом ізотопу від 0,03 до 110 ПБк [34]. Камера опромінення має бути побудована з захис-

					НУЦЗУ. 2.19-37.СХ та ХТ. РПЗ-02	Лист
						47
Зм	Лист	Підпис	№ докум	Дата		

ним бетонним шаром близько двох метрів. Обробку харчової продукції або збіжжя проводять шляхом пересипання у контейнері або шляхом переміщення на конвеєрі повз джерела іонізуючого опромінення. Відповідні установки можуть бути періодичної або безперервної дії. Принципова стадійність використання ізотопів у блоках гамма випромінювання показана на рис.4.1.

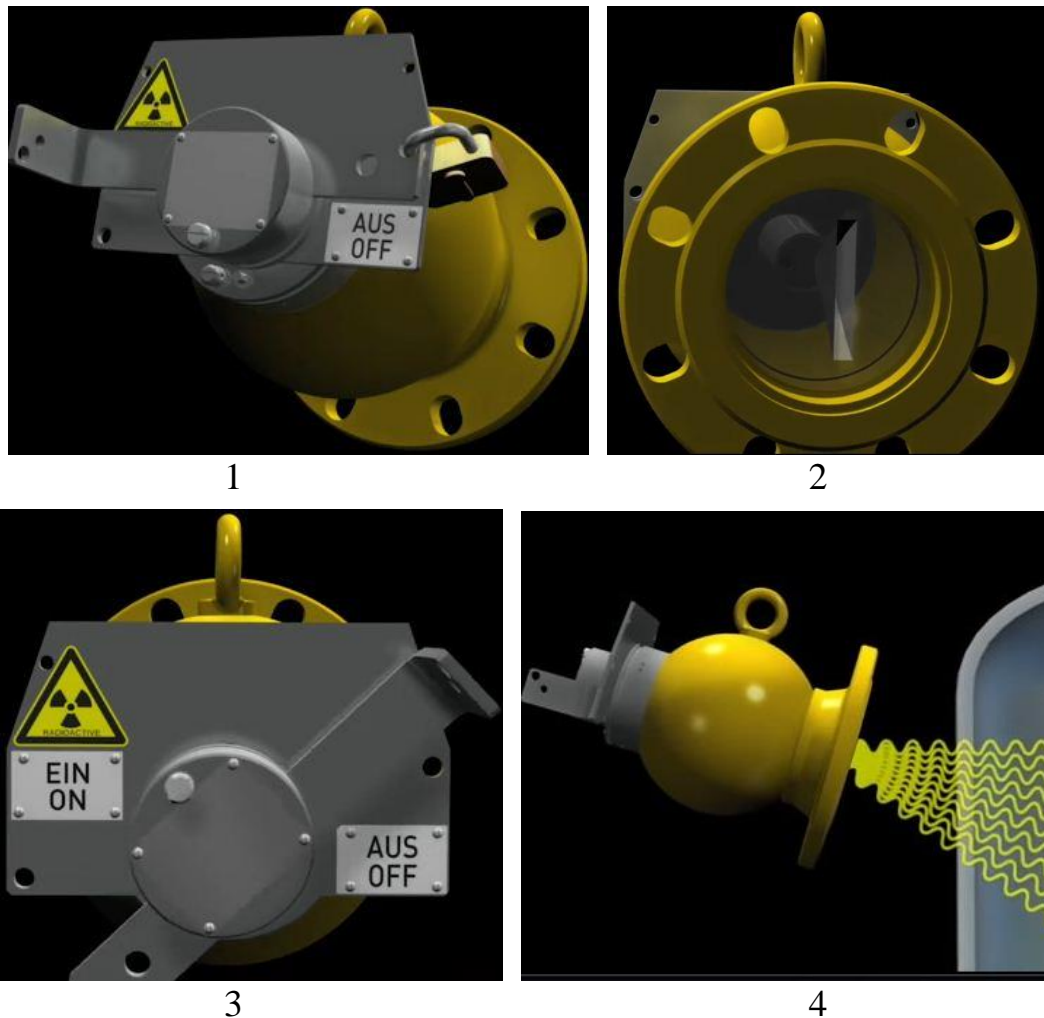


Рис.4.1. Стадії використання блока джерела гамма-випромінювання:

- 1 – блок зачинено та закрито; 2 – щілина фокусування гамма-випромінювання;
3 – відкривання отвору опромінення; 4 – опромінення об’єкта

Пропонують різні конструкції апаратів для оптимізації взаємодії між джерелом опромінення та харчовим продуктом з метою досягнення рівномірності та високої ефективності обробляння. Наприклад, використовують опромінення мішені, яка обертається, одним або декількома джерелами рентгенівського випромінювання [35]. Дози опромінення до 30 кГр дозволяють провести повне знезараження харчо-

вих продуктів. Дози до 4,2 кГр забезпечують зниження концентрації патогенних мікроорганізмів у 10 разів. Але даний спосіб оброблення матеріалів рослинного та тваринного походження не дозволяє здійснювати знезаражування великих обсягів матеріалів, що зберігаються.

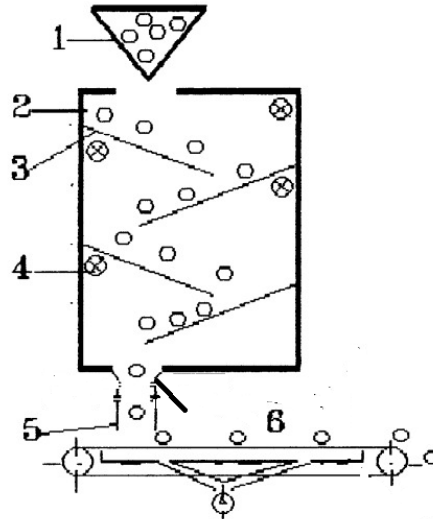


Рис.4.2. Принципова схема безперервної радіаційної обробки збіжжя:

- 1 – подача; 2 – контейнер обробки; 3 – подовжувачі шляху;
- 4 – джерела опромінення; 5, 6 – відбір опроміненого збіжжя

Існує конвеєрний спосіб дезінфекції упакованих матеріалів [36]. Джерело опромінення (радіоактивний ізотоп) може пересуватися між робочою камерою та поглинальним резервуаром. Для цього використовують гамма-, рентгенівське або бета-випромінювання [37]. Однак у патенті не розглянуто режими оброблення, що забезпечать неможливість самонагрівання скупчень матеріалів під час зберігання.

Застосовують, також, β - або γ - джерела для переробки зіпсованої сільськогосподарської продукції та отримання екологічно чистої продукції технологічного призначення: столярні клеї для виробництва паперу, картону, ДСП або ДВП, складові будівельних сумішей, миючих засобів тощо.

На Україні такі технології не впроваджені, що визначається необхідністю здійснення значних капітальних вкладень на етапі організації такого виробництва. Тому актуальним залишається питання строку повернення цих коштів за організації радіаційної обробки у промислових масштабах.

4.2. Розробка способу профілактики мікробіологічного самозаймання рослинних матеріалів шляхом радіаційної обробки

В основу пошукового завдання було поставлено мету створення способу підвищення ефективності, надійності та екологічної безпеки запобігання мікробіологічного самозаймання при зберіганні скупчень рослинних матеріалів. Раніше було показано, що можливе пригнічення життєдіяльності мікроорганізмів у насипних сільськогосподарських продуктах, тому можна використовувати таку обробку для запобігання або припинення розвитку мікробіологічного самонагрівання за доз близько 4 кГр. Крім того, дози γ -опромінення до 9 кГр спричиняють загибель більшості мікроорганізмів, а рослинний матеріал залишається безпечним. Тому відповідні дози можна рекомендувати для знезараження матеріалів рослинного походження з метою подовження строків їх зберігання і профілактики мікробіологічного самозаймання [38]. Але припинення процесів мікробіологічного самонагрівання шляхом іонізуючого опромінення може бути досягнуто лише на стадії самонагрівання рослинного матеріалу у процесі його «дихання» (пожежогасіння радіаційною обробкою не досягається).

Поставлене завдання вирішено тим, що для попередження самонагрівання внаслідок життєдіяльності мікроорганізмів здійснюють дезінфекцію рослинного матеріалу іонізуючим випромінюванням у достатніх дозах – до 9 кГр, за яких ще не змінюються споживчі характеристики матеріалів, але знижуються вимоги до сушіння та вентиляції.

Радіаційну обробку можна здійснювати шляхом застосування різних джерел іонізуючих випромінювань: ізотопи хімічних елементів – ^{60}Co або ^{137}Cs , прискорювачі електронів. Використання останніх економічно не доцільно, оскільки достатньо потужні установки споживають близько 20 кВт·год електроенергії. Здешевлення радіаційної обробки можна досягти з використанням радіаційно-активних відходів або шляхом наближення оброблюваних речовин до поверхонь з наведеною радіоактивністю. Джерела іонізуючого випромінювання або радіоактивні відходи розташовують у металевих або бетонних капсулах з організацією направленої впливу. Для означених режимів обробки підходить блок гамма-джерела БГІ-50П, рис.4.2.

					НУЦЗУ. 2.19-37.СХ та ХТ. РПЗ-02	Лист
						50
Зм	Лист	Підпис	№ докум	Дата		



Рис.4.3. Блок гамма-джерела БГІ-50П

Спосіб, що пропонується, реалізується наступним чином. Для стаціонарної обробки по сторонах силосу або іншого сховища з рослинним матеріалом (збіжжя, борошно, сіно, торф та ін.), розташовують 4 джерела γ -випромінювання (типові – ^{60}Co та ^{137}Cs), які пересуваються повз щілин, закритих стінкою з матеріалу, який у меншому ступені поглинає проникаюче випромінювання. Дані джерела пересуваються уздовж найбільшого габаритного розміру екранованого сховища, зі швидкістю, яка забезпечує отримання доз опромінення у найближчих зонах – не більше ніж 9 кГр, а у середніх – не менше ніж 4,5 кГр, що забезпечує достатній ступінь дезінфекції, запобігання або припинення процесів самонагрівання під час зберігання [39]. Така обробка проводиться в екранованому сховищі, дозволяє забезпечити швидке його завантаження, але має нерівномірність опромінення. Якщо обладнати силос або інший бункер, де зберігається речовини, схильна до мікробіологічного самозаймання стаціонарною системою обробки, можна знизити потужність опромінення за рахунок безперервності радіаційного впливу.

На стадіях складування застосовують установки безперервної дії. Під час конвеєрного або бункерного обробляння рослинного матеріалу його транспортують або пересипають повз 4-х джерел іонізуючого випромінювання (γ - або рентгенівського) зі швидкістю, яка забезпечує отримання доз опромінення близько 9 кГр, що надає

достатній ступінь дезінфекції для запобігання або припинення процесів самонагрівання під час зберігання. Таку обробку проводять в екранованому приміщенні, досягається висока рівномірність опромінення, але повільне завантаження сховища.

Для відкритого обробляння сіна, торфу та інших скупчень рослинних матеріалів забезпечують сканування скупчення іонізуючим випромінюванням (γ - або рентгенівським), направленим вертикально у землю, з досягненням дози опромінення не більше, ніж критична (до 9 кГр – для сіна, до 49 кГр – для торфу [30]), що забезпечує достатній рівень дезінфекції у внутрішніх шарах оброблюваного матеріалу, а також запобігання або припинення процесів самонагрівання під час зберігання. Таку обробку проводять пересувним джерелом іонізуючого випромінювання – висувна стріла, квадрокоптер та ін. за умови відсутності у зоні спостереження людей [40]. Така обробка зменшить небезпеку самовільного загоряння таких матеріалів під час зберігання.

Такі варіанти обробляння пригнічують життєдіяльність мікроорганізмів у рослинних матеріалах, запобігають їх самонагріванню, виникненню пожеж або вибухів [41]. На відміну від інших способів дезінфекції й профілактики самозаймання, іонізуюче опромінення дозволяє проводити знезараження як при складуванні, так і під час зберігання рослинних матеріалів; опромінення у докритичних дозах не забруднює навколишнє середовище та матеріали, не змінює їх споживчі характеристики, строк очікування до споживання після оброблювання – 1 доба. Не зважаючи на значні капітальні затрати, радіаційна обробка усуває потребу в значній кількості організаційно-технічних заходів та технологічних рішень, що робить її перспективною, а з врахуванням високої ефективності – безальтернативним рішенням на даний момент.

4.3. Забезпечення безпеки застосування радіаційної обробки рослинних матеріалів

Для типових установок радіаційної обробки харчових продуктів з потужністю виробництва до 3000 тис. т/рік продукції використовують заряд джерела іонізуючого випромінювання близько 30 ПБк, що потребує захисного шару будівельних конструкцій для бетонного виконання 170–190 см, а для сталевих – близько 60 см. Але за умови спрямування іонізуючого випромінювання всередину заповненого силосу збіжжя буде виконувати роль захисного шару, який буде поглинати іонізуюче опромінення.

					НУЦЗУ. 2.19-37.СХ та ХТ. РПЗ-02	Лист
						52
Зм	Лист	Підпис	№ докум	Дата		

Для силоса необхідно передбачити декілька ліфтових систем, розташованих за його висотою, які будуть пересувати вгору-вниз. Збільшення кількості опромінювачів дозволить використати менш потужні джерела іонізуючого випромінювання. Водночас буде досягатись більша рівномірність опромінення по об'єму силоса. Якщо головна обробка передбачається під час завантаження силосу, коли опроміненню буде підлягати збіжжя, яке сиплеться та його поверхневий шар у силосі, то джерела опромінення повинні бути спрямовані під деяким кутом вниз. Повторна обробка крізь шар збіжжя можлива за необхідності, якщо через деякий час зберігання буде помітне самонагрівання або зміна складу газів, що утворюються внаслідок життєдіяльності мікроорганізмів. Для опромінення внутрішніх шарів збіжжя по центральній осі силосу можна розташувати ще одну ліфтову систему з системою з двох поглинаючих дисків, між якими буде джерело для опромінення відносно осі на 360 °. У порожньому резервуарі на можна вмикати подачу іонізуючого опромінювання, оскільки стандартна товщина двох стін не забезпечить навіть половинне ослаблення.

Типові силоси бувають сталеві та залізобетонні. Для всіх матеріалів існує коефіцієнт поглинання іонізуючого випромінювання, який розраховують за формулою:

$$\mu = \sigma \frac{N_A \rho}{M} \quad (4.1)$$

де N_A – число Авогадро; M – молярна маса; ρ – густина матеріалу; σ – ефективний переріз поглинання сумарного випромінювання.

Існує шар матеріалу, який забезпечує половинне ослаблення іонізуючого випромінювання. Відомо, що для сталі він становить 2,5 см, для ґрунту – 9,1 см, для свинцю – 1,8 см, для бетону – 6,1 см. Для збіжжя відповідного параметру у літературі не знайдено, але можна очікувати, що він буде більшим, ніж для ґрунту, оскільки органічні речовини складаються з менш важких атомів, а також існують порожнини між зернами. Якщо побудувати відому залежність для шару половинного ослаблення за густиною матеріалів (рис.4.3) ступеневою функцією $h_{0,5} = 18\rho^{-0,95}$, см, то для збіжжя з найбільшою насипною щільністю 0,84 г/см³. – очікуваний шар половинного ослаблення буде становити не менше 22 см. Також проникнення залежить

від енергії гамма-квантів: у м'яких біологічних тканинах за збільшення енергії від 1 до 20 МеВ глибина половинного ослаблення збільшується від 14 до 56 см.

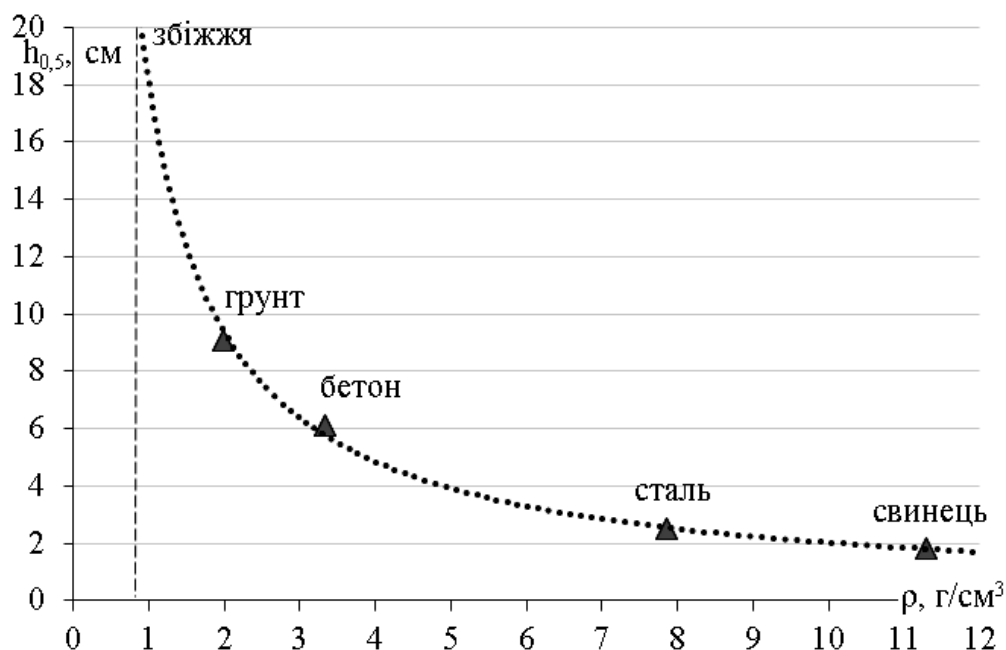


Рис.4.4. Крива для визначення шару половинного ослаблення гамма-випромінювання за густиною матеріалу

Якщо забезпечувати 10 періодів ослаблення (у 1000 разів), то для сталі достатньо 25 см, бетону – 61 см, ґрунту – 91 см, для збіжжя можна очікувати – 2 м. Якщо забезпечувати 20 періодів ослаблення (у 10⁶ разів) – то у 2 рази більше, тобто 4 м збіжжя будуть екранувати вихід назовні гамма-випромінювання. Таким чином, діаметр силоса, який оброблюється радіаційним опроміненням, не повинен бути меншим за 2 м.

За опромінення необхідно забезпечити, щоб в усіх точках опромінення отримана доза становила 4–9 кГр. Тоді, якщо застосовується 4 зовнішніх опромінювача з забезпеченням біля стінки дози 9 кГр, то усередині доза від одного опромінювача повинна становити близько 1 кГр, якщо 8 шт. – 0,5 кГр, що відповідає відстаням приблизно 0,6 та 0,8 м. Тобто існує баланс між кількістю опромінювачів, діаметром силосу та енергією гамма-квантів. Якщо збільшити енергію гамма-квантів з 5 до 20 МеВ, то глибина половинного ослаблення збільшиться до 0,6 м. Тоді відстань між випромінювачами можна збільшити з 1,2 м до 3,6 м. Дані таблиці показують, що застосовуючи внутрішні джерела опромінення можна досягти зменшення їх кількості для забезпечення доз опромінення збіжжя у діапазоні 4–9 кГр. Але враховуючи необхідність 10-

періодного ослаблення для впровадження можна використовувати варіанти, виділені у таблиці сірим кольором. Водночас зауважимо, що на практиці силоси діаметром менше 5 метрів не використовують та вони менш схильні до самозаймання. Тому для практичної реалізації можна рекомендувати варіанти з внутрішніми опромінювачами та подвійною кількістю зовнішніх джерел опромінення. Також дана система здатна припиняти у силосі початкове самонагрівання в окремих осередках.

Таблиця 4.1. Співвідношення кількості опромінювачів та діаметру силосу

Діаметр силосу, м	Кількість γ -джерел	Діаметр силосу, м	Кількість γ -джерел
γ -джерела по периметру силоса		γ -джерела по периметру та в центрі силоса	
1,20	4	2,40	4+1
1,60	8	4,00	8+1
2,00	16	4,10	8+4
2,40	32	6,50	16+12
2,80	64	8,90	32+24
3,20	128	14,50*	64+24
3,60	256	11,30	64+48
4,00	512	16,90*	192

* - подвоєна кількість гамма-джерел по периметру силоса

Враховуючи, що для гамма-квантів існує комптонівське розсіювання на заряджених частинках, наприклад, на електронах оболонки атомів речовини, можна організувати розсіяння гамма-випромінювання на спеціальній вертикальній опуклій металевій частині стінки силоса товщиною 2 мм, рис.4.4.

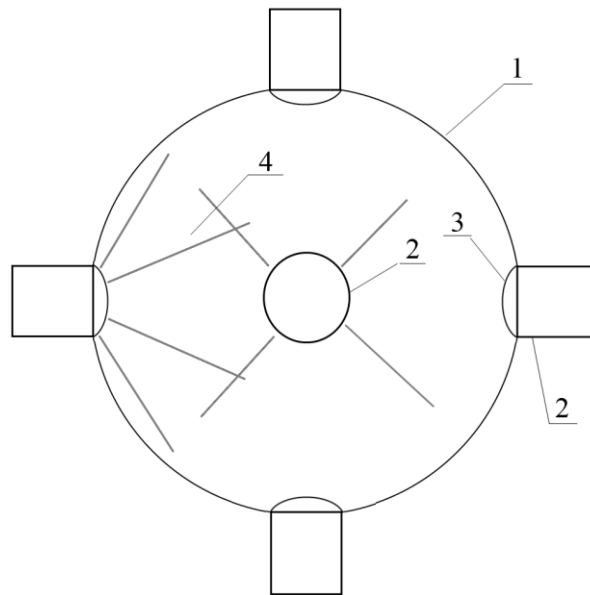


Рис.4.5. Схема розсіяння гамма-випромінювання по горизонтальній проекції силоса:
 1 – силос, 2 – гамма-джерело, 3 – розсіювач, 4 – зони з різною густиною опромінення

У силосі повинні бути розташовані дозиметри для контролю доз, які отримує окреме зерно в різних частинах силосу. Наприклад, можна використовувати декілька дозиметрів-радіометрів МКС-05 "ТЕРРА", рис.4.5.



Рис. 4.6. Дозиметр-радіометр МКС-05 «ТЕРРА»

Об'ємне поле доз у збіжжі необхідно контролювати системою вимірювання, яка буде розташована водночас з системою вимірювання температур – кожні 2 м. Дозиметр-радіометр МКС-05 «ТЕРРА» призначений для вимірювання амбієнтного еквівалента дози (ЕД) і потужності амбієнтного еквівалента дози (ПЕД) гамма- та рентгенівського випромінювань, а також поверхневої густини потоку частинок бета-

випромінення. Дозиметр використовується для екологічних досліджень; для дозиметричного і радіометричного контролю на промислових підприємствах; для контролю радіаційної чистоти житлових приміщень, будівель і споруд, території, що до них прилягає, предметів побуту, одягу, поверхні ґрунту на присадибних ділянках, транспортних засобів.

Ззовні силосу теж потрібно контролювати радіаційний фон, що також можна зробити за допомогою дозиметра-радіометра МКС-05 «ТЕРРА».

Кожна людина з персоналу на робочому місці повинна завжди з собою носити індивідуальний дозиметр гамма-випромінення ДКГ-21. Дозиметр може зберігати накопичену історію доз в енергонезалежній пам'яті з відліком у реальному часі та передавати її на комп'ютер. При цьому дозиметр повинен бути вимкнений до завершення процесу зчитування інформації, що зберігається в пам'яті дозиметра. У разі перевищення встановлених порогових значень дози гамма-випромінення або її потужності подається світлова та звукова сигналізація.

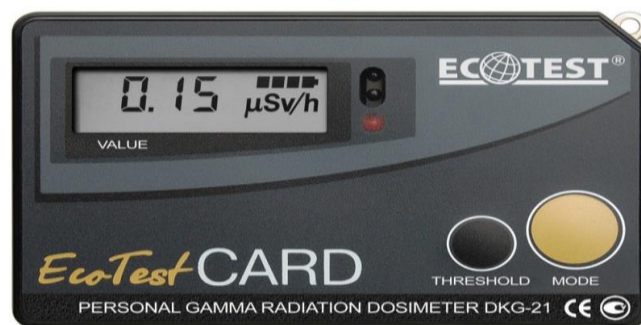


Рис. 4.7. Індивідуальний дозиметр гамма-випромінення ДКГ-21

Збіжжя, яке вивантажують для перевезення необхідно контролювати на предмет підвищеного радіаційного фону, що може виникнути в аварійних ситуаціях. Для цього можна працювати з універсальним спектрометричним комплексом Гамма-Плюс з програмним забезпеченням «Прогрес». Комплекс Гама Плюс є базовим приладом для оснащення акредитованих лабораторій радіаційного контролю. Застосування комплексу «Гама Плюс» дозволяє забезпечити виконання вимог нормативних документів, що регламентують вміст радіонуклідів у продуктах харчування та сировині, будівельних матеріалах, воді, ґрунтах, лісі та лісоматеріалах тощо.



Рис. 4.8. Універсальний спектрометричний комплекс Гамма-Плюс

У разі розгерметизації блока, що містить джерело іонізуючого випромінювання, виникнення інших предметів, забруднених радіоактивними речовинами, на виробництві має бути контейнер для їх тимчасової ізоляції до передачі на зберігання до ДМСК підприємства «Радон».

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1. Організаційні заходи охорони праці за умови використання джерел іонізуючого випромінювання

Паралельно з широким використанням ядерної енергетики у світовій енергетиці зростає вплив іонізуючого випромінювання на населення планети від радіонуклідів, що потрапляють у навколишнє середовище. Тому подальший розвиток ядерної енергетики вимагає загального підвищення рівня безпеки та посилення міжнародного співробітництва для впровадження розроблених стандартів, а також формування критичного ставлення до технічних систем і менш надійних елементів ядерних технологій.

Охорона праці на робочих місцях регулюється відповідно до Закону України «Про охорону праці» та відомчих документів [42–46]. На основі цих документів підприємства, що використовують іонізуюче опромінення та ядерну енергію, розробляють інструкції з охорони праці для відповідних робіт згідно з положенням про розробку інструкцій з охорони праці. Керівництво підприємств та їх структурних підрозділів повинно забезпечити регулярне навчання працівників з питань охорони праці. Усі працівники під час прийняття на роботу і в процесі роботи повинні дотримуватися вимог Типового положення про порядок проведення навчання, інструктажів і перевірки знань працівників з питань охорони праці та Типового положення про порядок проведення спеціального навчання, інструктажів і перевірки знань з питань пожежної безпеки на підприємствах, в установах та організаціях України, згідно з положеннями, затвердженими керівником підприємства. Працівники повинні проходити навчання, інструктажі та перевірку знань з питань охорони праці, радіаційної та пожежної безпеки. Створюються умови для запобігання професійним захворюванням. Суб'єкт господарювання повинен забезпечити працівників гігієнічним та відповідним одягом і взуттям, спеціальним спецодягом і взуттям та засобами індивідуального захисту. Для забезпечення безпечних умов праці робочі місця повинні мати необхідну площу, висоту, освітлення та вентиляцію, а сходи, драбини та площадки повинні бути огорожені поручнями. Рухомі частини обладнання повинні

					НУЦЗУ. 2.19-37.СХ та ХТ. РПЗ-02	Лист
						59
Зм	Лист	Підпис	№ докум	Дата		

бути забезпечені міцними сітками або огорожами; гарячі поверхні обладнання, труб і резервуарів повинні бути ізольовані; а джерела випромінювання повинні бути належним чином ізольовані і захищені за відстанню і тривалістю перебування. Маши- ни, конвеєри та огороження повинні мати механічні та електричні замки, бути за- землені та обладнані системами сигналізації, які автоматично активуються на почат- ку та в кінці роботи машин. Між обладнанням має бути безпечна відстань для без- печного обслуговування та ремонту. Важливим моментом у безпеці праці є забезпе- чення ізоляції електричних кабелів від пошкоджень і вологи. У вологих приміщен- нях можна використовувати лише низьку напругу. Поширеним негативним впливом на здоров'я людини при використанні радіотерапевтичного обладнання є іонізуюче випромінювання відповідного типу. У робочих зонах біля печей та іншого теплоге- неруючого обладнання необхідна місцева вентиляція. На виробництвах, що вироб- ляють шкідливі аерозолі, слід встановлювати обладнання для збору пилу, гермети- зувати шви і з'єднання в технологічному обладнанні, болти і трубопроводи, макси- мально обтискати їх, щоб запобігти утворенню пилових відкладень, а також зазем- лювати обладнання. Джерела та світильники повинні забезпечувати необхідну осві- тленість робочої зони. Для створення комфортних параметрів мікроклімату у вироб- ничих приміщеннях у холодну та жарку пору року слід вживати заходів щодо забез- печення загальнообмінної та місцевої вентиляції.

5.2. Контроль безпеки використання джерел іонізуючого випромінювання

Радіаційна небезпека, що виникає при виробництві, транспортуванні, збері- ганні, монтажі та експлуатації джерела іонізуючого випромінювання, визначається потенційною можливістю радіоактивного забруднення робочих поверхонь об'єкта гамма-випромінюванням, гамма-променями, рентгенівським випромінюванням, джерелами іонізуючого випромінювання та обладнанням. Заходи захисту здійсню- ються з урахуванням впливу всіх вищезазначених видів випромінювання на орга- нізм людини з метою зниження сумарної дози опромінення до прийняттого рівня [47–51]. Радіаційна безпека досягається комплексом заходів, що включає гігієнічні, механічні, технічні та організаційні заходи. На підприємствах, що зберігають і вико-

					НУЦЗУ. 2.19-37.СХ та ХТ. РПЗ-02	Лист
						60
Зм	Лист	Підпис	№ докум	Дата		

ристовують джерела іонізуючих випромінювань, складається список працівників категорії А, які їх виготовляють, монтують і налагоджують, і категорії Б, які працюють з ними та контролюють технологічні режими функціонування.

Радіоізотопне обладнання відноситься до гамма-джерел, які залежно від ступеня радіаційної небезпеки створюють потужність дози понад 0,23 мкР/с на відстані 1 м від поверхні джерела іонізуючих випромінювань, або до бета-джерел з радіоактивністю 50 мкКи і більше. Потужність дози на поверхні джерела іонізуючих випромінювань не повинна перевищувати 10 мР/год, а на відстані 1 м від його поверхні – не повинна перевищувати 0,3 мР/год.

Експлуатація установок з джерелами іонізуючих випромінювань повинна бути організована відповідно до «Санітарних правил улаштування та експлуатації радіоізотопних установок». Суб'єкти господарювання, які отримують джерела іонізуючих випромінювань, зобов'язані організувати їх зберігання у спеціально відведеному окремому приміщенні. Потужність дози випромінювання на зовнішній поверхні стін та дверей цього приміщення не повинна перевищувати 0,3 мбер/год. Вимоги до розміщення та безпечної експлуатації радіочастотного обладнання для ДІВ 3 групи: розміщувати якомога далі від постійних робочих місць або в закритих приміщеннях. При використанні джерела іонізуючих випромінювань 2-ї та 3-ї груп необхідно дотримуватися таких вимог: пучок випромінювання повинен бути спрямований у найбезпечнішому для оператора напрямку; місце встановлення джерела іонізуючих випромінювань повинно знаходитися на безпечній відстані від осіб, які можуть наблизитися до місця встановлення з будь-якої причини. Час перебування персоналу на відстані менше 1 м від поверхні джерела іонізуючих випромінювань повинен бути зведений до мінімуму. Персонал, відповідальний за встановлення та налагодження джерела іонізуючих випромінювань, повинен проводити дозиметричний контроль на його зовнішній поверхні, в межах 1 м від поверхні та в робочій зоні біля місця встановлення. Приміщення повинно мати природне освітлення.

Загальний контроль потужності дози іонізуючого випромінювання здійснюється за допомогою приладів радіаційного контролю. Ці прилади призначені для оцінки радіаційного стану, перевірки надійності засобів захисту від фотонного ви-

					НУЦЗУ. 2.19-37.СХ та ХТ. РПЗ-02	Лист
						61
Зм	Лист	Підпис	№ докум	Дата		

промінювання та перевірки надійності зберігання гамма-випромінюючих ізотопів, які взаємодіють із захисними матеріалами контейнерів, таких як ^{90}Sr .

Рентгенівський лічильник складається з лічильника випромінювання з іонізаційною камерою, газорозрядного лічильника, сцинтиляційного лічильника, підсилювача і згладжувача імпульсів струму. Пристрої виведення включають пристрій індикації, декатрон і рідкокристалічний дисплей з цифровим відліком. Радіометр може бути обладнаний звуковою сигналізацією, яка вмикається при досягненні заданого порогового значення. Шкала на цьому приладі повинна відображатися в одиницях потужності дози, Р/год, мкР/год або мкР/год, або еквівалента фотонної дози, мЗв/год або мЗв/год.

Деякі радіометри, такі як СРП-68-01 та СРП-88, працюють також в імпульсному режимі, реєструючи окремі імпульси. Ці прилади мають перемикачі для вибору режиму роботи та подвійної шкали (мкР/год або с-1). Якщо прилади цього типу оснащені змінними блоками детектування, то вони призначені для багатоцільових завдань, таких як вимірювання потужності дози фотонного випромінювання, ступеня забруднення поверхні активними ізотопами, щільності потоку швидких і теплових нейтронів (МКС-04Н, УИМ-2-1еМ, МКС-01-РТ та ін.).

Радіометри використовуються для вимірювання інтенсивності потоку частинок та кванта іонізуючого випромінювання за одиницю часу. Використовуються для вимірювання концентрації радіонуклідів в об'єктах навколишнього середовища та біологічних матеріалах, питомої активності та щільності забруднення радіонуклідами різних поверхонь (КРБ-1, КРА-1, Бета, РУБ-01П6, РУГ-Р, РІ-БГ, РУГ-01М та ін.).

5.3. Аналіз небезпеки розгерметизації контейнера з джерелом іонізуючого випромінювання

Під радіологічною обстановкою в разі аварії на контейнері для дезактивації радіоактивних відходів розуміється ймовірність і ступінь радіоактивного забруднення майданчика і атмосфери, що може вплинути на життя людей і заходи безпеки під час проведення аварійно-рятувальних і відновлювальних робіт [52–60].

					НУЦЗУ. 2.19-37.СХ та ХТ. РПЗ-02	Лист
						62
Зм	Лист	Підпис	№ докум	Дата		

Вони також надають інформацію про радіаційний стан для швидкого оповіщення у разі виникнення надзвичайної ситуації.

Ці завдання можуть бути вирішені розрахунковим шляхом з подальшим уточненням, за результатами фактичних вимірювань на забруднених територіях в рамках радіологічної розвідки або за результатами автоматичного моніторингу радіологічної обстановки з використанням методики «Прогнозування наслідків викиду (скиду) небезпечних хімічних речовин при аваріях на промислових і транспортних об'єктах».

Вихідними даними для прогнозування та оцінки радіологічної обстановки є координати розташування контейнера з радіоактивними відходами, час викиду радіоактивного матеріалу в атмосферу, напрямок вітру і швидкість вітру на висоті напрямку вітру (10 м), категорія стійкості атмосфери, загальна хмарність, висота хмар і тип хмар, а також прогнозовані зміни метеорологічних даних протягом перших 12 годин після аварії.

Для розрахунку ймовірності аварії, пов'язаної з розгерметизацією сховища з радіоактивними відходами, була обрана категорія стійкості атмосфери А - дуже нестійка (конвекція), швидкість вітру 2 м/с і радіоактивний вихід 2% (за методом для реакторів). Було проаналізовано найнебезпечніший сценарій аварійної ситуації з декомпресією контейнера з радіоактивними відходами та викидом аерозольної хмари.

У таблиці наведено результати розрахунку площі радіоактивного забруднення за методикою, описаною вище для аварій з викидом радіоактивних матеріалів.

Таблиця 5.1. Розміри прогнозованих зон забруднення місцевості на сліду хмари у разі аварійного викиду радіоактивних речовин

Вихід активності, %	Індекс зони	Тип реактора					
		РВПК-1000			ВВЕР-1000		
		L, км	D, км	S, км ²	L, км	D, км	S, км ²
2	М	41,6	8	396,6	55	10,8	700
2	А	9,4	1,83	20,2	8,6	1,48	15,1

Також було визначено дозу опромінення, отриману опроміненою людиною в зоні радіоактивного забруднення протягом однієї години та дев'яти годин після ава-

рії. На межі забрудненої зони А: доза, отримана людиною на відкритій місцевості протягом однієї години після аварії, становить 0,4 бер, а доза, отримана людиною на відкритій місцевості протягом дев'яти годин після аварії, становить 8,5 бер. Межа зони забруднення М: доза, отримана людиною на відкритій місцевості протягом однієї години після аварії, становить 0,1 бер, а доза, отримана людиною на відкритій місцевості протягом дев'яти годин після аварії, - 3 бер. Зауважимо, що потужність дози випромінювання в середовищі проживання людини не повинна перевищувати 0,3 мбер/год.

Згідно з НРБУ-98, допустима річна доза опромінення становить 20 мЗв/рік.

Визначення допустимого часу роботи установки.

$$T_p = D/P \quad (5.1)$$

1. Потужність дози (за даними дозиметра ДП-5В) становить $P = 10 \text{ Р/год}$. Якщо допустима потужність дози $D = 10 \text{ бер}$, то необхідно визначити допустимий час роботи:

$$T_p = D/P = 10 / 10 = 1 \text{ година} = 60 \text{ хвилин.}$$

2. Експозиційна доза (за вимірами дозиметра-дозиметра МКСУ "Терра") становить $P = 0,05 \text{ Зв/год}$. Якщо допустима доза становить $D = 0,1 \text{ Зв}$, то необхідно визначити допустимий час роботи:

$$T_p = D/P = 0,1/0,05 = 2 \text{ години} = 120 \text{ хвилин.}$$

Таким чином, знаючи потужність дози випромінювання, можна визначити допустимий час роботи. Виходячи з цього, роботи з ліквідації наслідків аварій слід організувати позмінно.

Висновки до розділу:

1. Провела характеристику організаційним заходам з охорони праці за умови використання джерел іонізуючого випромінювання;
2. Визначилася з заходами контролю безпеки використання джерел іонізуючого випромінювання;
3. Зробила аналіз небезпеки розгерметизації контейнера з джерелом іонізуючого випромінювання;
4. Зробила розрахунок з визначенням допустимого часу роботи установки.

					НУЦЗУ. 2.19-37.СХ та ХТ. РПЗ-02	Лист
						64
Зм	Лист	Підпис	№ докум	Дата		

ВИСНОВКИ

1. Впровадження радіаційної обробки є світовою тенденцією, оскільки такий вплив дозволяє підвищити ефективність багатьох технологічних процесів та досягти ефектів, які іншими впливами не досягаються. Але така обробка потребує підвищеної уваги до забезпечення технічних та організаційних заходів безпеки.

2. У сучасному світовому господарстві радіаційні технології використовують для просвічування у медицині, митному контролі, дефектоскопії матеріалів, для ініціації нетипових хімічних реакції або розкладання стійких речовин, у якості мічених атомів, для точкової фокусування енергії усередині матеріалу, для селекції та підвищення схожості посівного матеріалу у сільському господарстві, для подовження строків зберігання харчової продукції.

3. Організацію контролю технологічного процесу з використанням радіоактивних джерел та відповідних заходів безпеки необхідно проводити з використанням вимірювань в автоматичному та ручному режимі за умови застосування дозиметрів та радіометрів.

4. Серед об'єктів, які підлягають радіаційній обробці, найбільший обсяг речовини опромінюється у технологіях подовження строків зберігання харчових продуктів. За старими технологіями, які досі працюють на Україні, застосовують хімічну обробку, охолодження, сушку для деяких матеріалів, витискання повітря з контейнеру. Але надійного ефекту це не надає та забруднює продукт. Аналогічним шляхом у світі зараз вирішують проблему подовження строків зберігання сільськогосподарської продукції та попередження самозаймання. У технології використання силосів для зберігання впроваджено також їх щомісячне перезавантаження.

5. У даній роботі пропонується поширити технології опромінення іонізуючим опроміненням на галузь попередження самонагрівання матеріалів рослинного походження. Розроблено принципове технологічне рішення та супутні заходи щодо забезпечення технологічного режиму радіаційної обробки збіжжя у силосі в межах доз 4–9 кГр, а також заходи для забезпечення безпеки персоналу та навколишнього середовища.

					НУЦЗУ. 2.19-37.СХ та ХТ. РПЗ-02	Лист
Зм	Лист	Підпис	№ докум	Дата		65

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

1. Тарахно О.В., Трегубов Д.Г., Жернокльов К.В., Коврегін В.В. Основні положення процесу горіння. Виникнення процесу горіння. Х.: НУЦЗУ, 2020. 408 с. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/11382>.
2. Афанасьєв А.В., Гуманний В.В., М'ясоїдов Г.П. Основи ядерної фізики, радіохімії та дозиметрії, 2003.
3. Grim J. Q., Ucer K. B., Trefilova L., et al. Nonlinear quenching of densely excited states in wide-gap solids. *Physical Review*. 2013. № 87(12). P. 117-125.
4. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ) 6.6.1–6.5.001–98. К.: МОЗУ, 1998. 135 с.
5. Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України. К., 2005. 62 с.
6. Загальні правила радіаційної безпеки використання джерел іонізуючого випромінювання у медицині. Наказ 51/151 Держатомрегулювання і МОЗ № 51/151 від 16.02.2017.
7. Мечев Д.С. та ін. Застосування джерел іонізуючого випромінювання у медицині та попередження надмірного опромінення персоналу і пацієнтів. К.: 2010. 148 с.
8. Про встановлення основних норм безпеки для захисту від загроз, зумовлених впливом іонізуючого випромінювання. Директива ради 2013/59/ЄВРАТОМ. 05.12.2013 р. 90 с.
9. Закон України «Про дозвільну діяльність у сфері використання ядерної енергії». Відомості Верховної Ради України, 2000, № 9, 68 с.
10. Положення «Про Державний реєстр джерел іонізуючого випромінювання». Постанова Кабінету міністрів України від 4 серпня 1997р. № 847.
11. Іспанський протокол про співробітництво в області радіаційного контролю металевих матеріалів. ООН. ECE/TRANS/AC.10/2006/2. 03.04.2006
12. Консультації відносно підвищення безпеки ДІВ в Україні. Зелена книга. 2008. 22 с.
13. Порядок взаємодії органів виконавчої влади та юридичних осіб, які провадять діяльність у сфері використання ядерної енергії, в разі виявлення радіоактив-

					НУЦЗУ. 2.19-37.СХ та ХТ. РПЗ-02	Лист
						66
Зм	Лист	Підпис	№ докум	Дата		

них матеріалів у незаконному обігу. Постанова КМУ від 2 червня 2003 р. № 813.

14. Ліцензійні умови провадження господарської діяльності із заготівлі, переробки, металургійної переробки металобрухту кольорових и чорних металів». Наказ КМУ № 183 від 18 листопада 2011 р. за N 1321/20059.

15. Ліквідація радіаційних аварій. Державне спеціалізоване підприємство Об'єднання «Радон». URL: <https://radon.net.ua/likvidacija-radiacijnih-avarij/>(дата звернення: 13.03.2023).

16. Поводження з РАВ. Рівненська атомна електростанція. URL: <https://www.rnpp.rv.ua/handling-rao.html> (дата звернення: 13.03.2023).

17. Davidson H.O. Biological effects of whole-body gamma radiation on human beings. Baltimore: Operations Research Office, 1957. 110 p.

18. Eisenbud M., Gesell Th. Environmental Radioactivity from Natural, Industrial and Military Sources. 1997. 688 p.

19. Опромінене продовольство: не мерехтить і не псується. Agravery. URL: <https://agravery.com/uk/posts/show/oprominene-prodovolstvo> (дата звернення: 13.03.2023).

20. Про затвердження Державних санітарних правил і норм «Гігієнічні вимоги до влаштування та експлуатації рентгенівських кабінетів і проведення рентгенологічних процедур». Наказ МОЗ України від 04.06.2007 р. № 294, із змінами за наказом МОЗ України від 2209.2017 року № 1126.

21. Соломон А.М., Казмірук Н.М., Тузова С.Д. Мікробіологія харчових виробництв: навчальний посібник. Вінниця: РВВ ВНАУ, 2020. 312 с.

22. Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їхнього визначення. ДСТУ 8829:2019. 75 с.

23. Taubkin I.S. Microbiological self-ignition as a cause of fire: guidelines for investigators and forensic examiners. Theory and practice of forensic science. №4 (44) 2016. С. 73–85.

24. Мірошниченко Д.В. Розвиток теорії і практики використання окисненого вугілля для виробництва доменного коксу. Х: НТУ «ХП», 2019 312 с.

25. Саранчук В.И., Русчев Д.С., Семененко В.К. и др. Окисление и самовозго-

					НУЦЗУ. 2.19-37.СХ та ХТ. РПЗ-02	Лист
						67
Зм	Лист	Підпис	№ докум	Дата		

раніе твердого топлива. Київ: Наукова думка. 1994. 264 с.

26. Tregubov D., Tarakhno O., Deineka V., Trehubova F. Oscillation and Stepwise of Hydrocarbon Melting Temperatures as a Marker of their Cluster Structure. Solid State Phenomena №334. 2022. P. 124–130

27. Trade and Food Standards. Food and Agriculture Organization of the United Nations and the World Trade. 2017. 72 p.

28. ISO14470-2011(R2018). Food irradiation. Requirements for the development, validation and routine control of the process of irradiation using ionizing radiation for the treatment of food. International Org. for Standardization, 2011.

29. Pat. 2266398A3 EP, IPC A01N 37/46, A01N 43/40. Synergistische Mischungen mit insektizider und fungizider Wirkung / P. Krohn. – Original Assignee: BayerCropS AG. – DE 102004062512, 24.12.2004, Publication Date: 27.04.2011.

30. Пат. 65630UA. Пристрій для сушіння зерна та інших сипучих матеріалів електромагнітним полем надвисоких частот / Ю.К. Сидорук. – заявн. та п.вл.: Сидорук Ю.К. – u201106355, 20.05.2011, опубл. 12.12.2011. 5 с.

31. Пат. 535494A1 SU, МПК G01N 25/48. Способ определения воздействия средств газового тушения на самовозгорание веществ / М.Н. Федотов и др. – заявн. та патентообл.: ВНИИПО. – 2057515A SU, 06.09.1974, опубл. 15.11.1976.

32. Пат. 14212 UA, МПК A62C 3/04. Спосіб профілактики самозаймання і вибухів на зернових елеваторах / А.І. Бочарніков та ін. – заявн. та патентовл.: ЦСДВГРСВПУ. – U4652363, 21.02.1989, опубл. 25.04.1997.

33. Пат. 56532 UA, МПК A62C 3/04. Спосіб зберігання зерна на елеваторах / І. В. Водоп'янова. – заявн. та патентовл.: Водоп'янова І.В. – U201014068, 25.11.2010, опубл. 10.01.2011.

34. Полігони твердих побутових відходів. Основні положення проектування. ДБН В.2.4.2.2005. 32 с.

35. Pat. 6868136B2 US, IPC A23L3/263. Irradiation apparatus and method / T. B. Hansen, J. M. McNally. – Original Assignee: Cleaner Food Inc. – US10/877628, 26.06.2004, Publication Date: 15.03.2005.

36. Pat. 8511045B2 US, IPC 3653 55/08. Active sterilization zone for container

					НУЦЗУ. 2.19-37.СХ та ХТ. РПЗ-02	Лист
						68
Зм	Лист	Підпис	№ докум	Дата		

filling / M. J. Mastio et al. – Original Assignee: Stokely-Van Camp, Inc. – US 2011/0023420 A1, 03.02.2011, Publication Date: 20.08.2013.

37.Pat. 2008/0273661 A1 US, IPC G2 LR 5/08. Irradiation method and apparatus / L. J. Aubel. – Original Assignee: Rago E. Kirk. – US 11/800,394, 05.05.2007, International Publication Date: 11.06.2008.

38. Пат. 151986 UA. Спосіб профілактики самовільного виникнення горіння та зберігання рослинних матеріалів / Трегубов Д.Г., Гапон Ю.К., Кіреєв О.О., Тарахно О.В., Чиркіна М.А., Вілль М.Ю. заявник та патентовл. НУЦЗУ - и 2021 06685; заявл. 25.11.2021; 12.10.2022, Бюл.№ 41. 4 с.

39.Вілль М.Ю. Запобігання самозаймання іонізуючим опроміненням // Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту: матеріали міжнародної науково-практичної конференції молодих учених. Харків: НУЦЗУ, 2022. С. 437.

40.Трегубов Д.Г., Вілль М.Ю. Безпечність методів подовження термінів зберігання рослинних матеріалів // Всеукраїнська науково-практична конференція «Проблеми техногенно-екологічної безпеки в сфері цивільного захисту» 2022. С.151-154.

41.Вілль М.Ю., Трегубов Д.Г. Попередження гниття матеріалів рослинного походження та його наслідків шляхом радіаційної обробки // Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування. VIII Міжнародний молодіжний конгрес, 02-03 березня 2023. Львів: НУ «Львівська політехніка», 2023. С. 99.

42.Закон України «Про охорону праці». ВВР. 1992. № 49. С. 668

43.Закон України «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку, постанова ВР № 40/95-ВР від 08.02.95. ВВР. 1995. №12. С.81-102.

44.Закон України «Про захист людини від впливу іонізуючого випромінювання». Відомості Верховної Ради України, 1998. № 22. с.115-135.

45.Комплексний огляд регулюючої діяльності (місія МАГАТЕ IRRS). 2006.

46.Закон України «Про видобування і переробку уранових руд». ВВР. 1998. № 11-12, с. 39.

47.Резепов В. К., Денисов В. П., Кирилюк Н. А. та ін. Реактори ВВЕР-1000 для атомних електростанцій. Академкнига, 2004. 333 с.

					НУЦЗУ. 2.19-37.СХ та ХТ. РПЗ-02	Лист
						69
Зм	Лист	Підпис	№ докум	Дата		

48. Санітарні правила проектування та експлуатації атомних станцій. СПАС-88.
49. Питання дозиметрії та РБ на АЕС, Славутич: Укратоміздат, 1998.
50. Доповідь Наукового комітету ООН щодо дії атомної радіації: 1962-1965. Документи ООН 1965.
51. Мурашко В.О., Мечев Д.С. й ін. Радіаційна гігієна. Вінниця: Нова книга, 2013. 374 с.
52. Закон України «Про поводження з радіоактивними відходами», від 30.06.1995р. № 256/95-ВР.
53. Єрофеев В.А. Основи поводження з радіоактивними відходами, 2000. 112 с.
54. Положення про організацію оповіщення і зв'язку у надзвичайних ситуаціях. Постанова КМУ від 15.01.1999.
55. Вимоги до упаковок для довгострокового зберігання та захоронення високоактивних радіоактивних відходів від переробки відпрацьованого ядерного палива. ДК ядерного регулювання України, наказ №34 від 16.02.2009. Затв. 11.03.2009, № 229/16245.
56. Закон України «Про Загальнодержавну цільову екологічну програму поводження з радіоактивними відходами» від 17.09.2008р № 516-VI. ВВР. 2009. №5. с. 8-30.
57. Стратегія поводження з радіоактивними відходами в Україні. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 19.08.2009р. № 990-р.
58. Мурашко В.О., Костенецький М.І., Рушак Л.В. Промислові радіаційні аварії з джерелами іонізуючого випромінювання, запобігання та порядок їх розслідування. К.: 2014. 78 с.
59. Калиновський О.К., Краснов В.О., Пазухін Е.М. Деякі екологічні аспекти використання ядерних вибухів у мирних цілях. Проблеми безпеки АЕС і Чорнобиля. 2010. №14. С.113-119.
60. Невідома ядерна Україна. Імена. URL: <https://www.imena.ua/blog/nuclear-ukraine/> (дата звернення: 13.05.2020).

					НУЦЗУ. 2.19-37.СХ та ХТ. РПЗ-02	Лист
						70
Зм	Лист	Підпис	№ докум	Дата		