

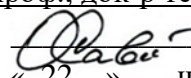
**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА**

Інститут ННІ Енергетичної, інформаційної та транспортної інфраструктури
Кафедра Хімії та інтегрованих технологій
Освітній рівень перший (бакалаврський)
Спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ХтаІТ

проф., док-р тех. наук Саввова О.В.



«22» червня 2026 року

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

Тема роботи: Розробка складів захисних цементів для іммобілізації радіоактивних відходів.

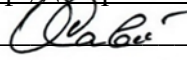
Шифр роботи ХІТк 2022-1, 6
(група, номер теми за наказом)

Виконавець Різниченко Євгеній Сергійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник доцент, Христич Олена Валеріївна
(посада, прізвище, ім'я, по батькові)

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

Інститут ННІ Енергетичної, інформаційної та транспортної інфраструктури
Кафедра Хімії та інтегрованих технологій
Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр
Спеціальність 161 – Хімічні технології та інженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ХтаІТ
проф., док-р тех. наук Саввова О.В.

« 12 » травня 2026 року

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ**

Різниченко Євгеній Сергійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка складів захисних цементів для іммобілізації радіоактивних відходів

керівник роботи Христич Олена Валеріївна, кандидат технічних наук, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджена наказом вищого закладу освіти «08» травня 2026 р. № 399-03

2. Строк подання студентом роботи 20 червня 2026 р.





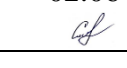
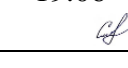
3. Вихідні дані до роботи Одержання складів захисних цементів для іммобілізації радіоактивних

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
розділ 1: Теоретичний; розділ 2: Методологічно-технологічний; розділ 3: Науково-дослідна частина; розділ 4: Охорона праці та безпека життєдіяльності; розділ 5: Економічна частина

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

Презентація – 16 слайдів

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Теоретичний розділ	<i>Христич О.В., доцент</i>	12.05	13.05
Методологічно-технологічний розділ	<i>Христич О.В., доцент</i>	12.05	13.06
Науково-дослідна частина	<i>Христич О.В., доцент</i>	12.05	12.06
Економічна частина	<i>Пилипенко О.І., доцент</i>	 02.06	 18.06
Охорона праці та безпека життєдіяльності	<i>Логвінков С.М., проф.</i>	 02.06	 18.06
Показник оригінальності КР	<i>Скрипинець А.В., ст. викладач</i>	02.06 	19.06 

7. Дата видачі завдання 12.05.2026

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер етапу	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Постановка проблеми і завдань дослідження</i>	12.05.2026	виконано
2	<i>Аналітичний огляд літературних джерел, вибір методик досліджень</i>	12.05.2026	виконано
3	<i>Проведення досліджень, аналіз результатів, підготовка пояснювальної записки та висновків</i>	15.05.2026	виконано
4	<i>Підготовка розділів з економічного обґрунтування та охорони праці</i>	20.05.2026	виконано
5	<i>Оформлення пояснювальної записки</i>	30.05.2026	виконано
6	<i>Підготовка презентації, доповіді по ДР та інших супроводжуючих документів</i>	01.06.2026	виконано
7	<i>Подання ДР на допуск до захисту</i>	22.06.2026	виконано
8	<i>Захист ДР</i>	25.06.2026	виконано

Студент _____ 

(підпис)

Різниченко Є.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ 

(підпис)

Христич О.В.


(прізвище та ініціали)


**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**


Пояснювальна записка
до дипломного проекту (роботи)
бакалавра
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему Розробка складів захисних цементів для іммобілізації
радіоактивних відходів

Виконав студент 4 курсу, групи ХіТк 2022-1
напряму підготовки (спеціальності)
161 – Хімічні технології та інженерія
(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)


Різниченко Є. С.
(підпис, ініціали та прізвище)

Керівник 
Христич О. В.
(підпис, ініціали та прізвище)

Рецензент 
Бабіч О.В.
(підпис, ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до ДР: с. 65, 5 рис., 14 табл., 44 джерел, 2 додатки.

Ключові слова: СПЕЦІАЛЬНИЙ ЦЕМЕНТ, РАДІАЦІЙНИЙ ЗАХИСТ, ЖАРОСТІЙКІСТЬ, КОЕФІЦІЄНТ МАСОВОГО ПОГЛИНАННЯ, ТЕРМІНИ ТУЖАВЛЕННЯ.

Об'єкт дослідження – спеціальний цемент з комплексом високих експлуатаційних на основі алюмінатів, силікатів та феритів барію.

Метою даної роботи є створення складів захисного цементу на основі алюмінатів, силікатів та феритів барію з високими фізико-механічними характеристиками та підвищеною здатністю до поглинання гамма-випромінювання.

Методи дослідження – термодинамічний, рентгенофазний та електронно-мікроскопічний методи аналізу. Фізико-механічні та технічні характеристики цементів визначались відповідно до чинних стандартів ДСТУ.

Основні результати: оптимізовано склади та розроблено спеціальний захисний цемент, що характеризується високими експлуатаційними характеристиками та має коефіцієнт масового поглинання γ -випромінювання у 2–2,5 рази більше ніж традиційні кальцієві цементи. Розроблений оптимальний склад цементу для виготовлення радіаційно-захисних конструкцій, а також сховищ і контейнерів для зберігання, транспортування та захоронення ядерного палива і радіоактивних відходів, є швидкотужавіючими – початок тужавіння 25 хв. до 1 годин 10 хв.; високоміцними – міцність при стиску до 80 МПа; з високим коефіцієнтом масового поглинання μ 270 см²/г,

Виконано економічний аналіз діяльності. Передбачено заходи з безпеки праці та життєдіяльності.

ABSTRACT

Explanatory Note to DP.: 65 pages, 5 figures, 14 tables, 44 sources, 2 appendices.

Keywords: SPECIAL CEMENT, RADIATION SHIELDING, HEAT RESISTANCE, MASS ATTENUATION COEFFICIENT, SETTING TIME.

Object of the study – a special cement with enhanced performance properties based on barium aluminates, silicates, and ferrites.

The aim of this work is to develop protective cement compositions based on barium aluminates, silicates, and ferrites with high physical and mechanical properties and an increased capacity for gamma-radiation attenuation.

Research methods - thermodynamic analysis, X-ray diffraction (XRD), and scanning electron microscopy (SEM). The physical, mechanical, and technical properties of the cements were determined in accordance with the current DSTU standards.

Main results: optimized compositions and developed special protective cement, characterized by high performance characteristics and having a mass absorption coefficient of γ -radiation 2–2.5 times higher than traditional calcium cements. Developed an optimal composition of cement for the manufacture of radiation-protective structures, as well as storage and containers for storage, transportation and disposal of nuclear fuel and radioactive waste, are fast-hardening - the beginning of hardening 25 min. to 1 hour 10 min.; high-strength - compressive strength up to 80 MPa; with a high mass absorption coefficient m 270 cm^2/g ,

An economic assessment of the project was carried out. Occupational health, safety, and life-safety measures were also developed and considered

ЗМІСТ

Вступ.....	9
1. Теоретичний розділ.....	10
1.1 Сучасні аспекти поводження з радіоактивними відходами.....	10
1.2 Інженерні підходи до захоронення радіоактивних відходів та вимоги безпеки	12
1.3 Вимоги до матеріалів для радіаційного захисту в атомній енергетиці	15
1.4 Спеціальні захисні цементи для жаростійких і радіаційно-захисних матеріалів	17
1.4.1 Шпінельвмісні цементи	17
1.4.2 Барій-алюмінатні цементи.	19
1.5 Висновки за розділом 1.....	15
2.Методологічно-технологічний розділ.....	22
2.1 Об'єкт дослідження.....	22
2.2 Матеріали досліджень	22
2.3 Методи досліджень.....	24
2.4 Висновки за розділом 2.....	26
3. Науково-дослідна частина	27
3.1 Розробка та оптимізація складів барійвмісних цементів	27
3.2 Розробка та оптимізація складів барійвмісних цементів	29
3.3 Дослідження фізико-механічних властивостей оптимального складу барійвмісного цементу	30
3.4 Висновки за розділом 3	34
4. Охорона праці та безпека життєдіяльності.....	35
4.1 Загальна характеристика умов проведення науково-дослідної роботи	35
4.2 Комплекс захисних заходів.....	41
4.3 Особиста безпека праці	43
4.4 Висновки за розділом 4	43
5. Економічна частина	45
5.1 Розрахунок собівартості проведення науково-дослідної роботи.....	48
5.1.1 Розрахунок матеріальних витрат.....	48

5.1.2 Розрахунок енергетичних витрат.....	48
5.1.3 Розрахунок витрат на воду	48
5.1.4 Розрахунок амортизації основних фондів і нематеріальних активів	49
5.1.5 Розрахунок витрат на малоцінні та витратні матеріали.....	50
5.1.6 Витрати на оплату праці і відрахування на соціальні заходи.....	50
5.1.7 Кошторис витрат на проведення науково-дослідної роботи.....	51
5.2 Розрахунок економічного ефекту від впровадження науково-дослідної роботи.....	52
5.3 Висновки за розділом 5	54
Висновки.....	56
Список використаних джерел.....	57
Додаток А. Публікативна активність здобувача.....	63
Додаток Б. Результати перевірки роботи на плагіат.....	64

ВСТУП

Обмежені запаси традиційних енергоресурсів в Україні та недостатній рівень розвитку альтернативної енергетики не дають можливості найближчим часом суттєво скоротити роль атомної енергетики в енергетичному балансі країни. Надійне енергозабезпечення є важливою передумовою економічного зростання та подальшої інтеграції України до європейського співтовариства. Нині атомні електростанції забезпечують близько половини загального виробництва електроенергії, що свідчить про їх визначальне значення для енергетичної незалежності та стабільності держави.

За сучасних умов особливої актуальності набувають питання безпечної експлуатації атомних електростанцій, захисту критичної інфраструктури та надійного поводження з радіоактивними матеріалами і відходами. Зростання техногенних та воєнних ризиків підсилює потребу у впровадженні інноваційних технологічних рішень, спрямованих на підвищення рівня ядерної та радіаційної безпеки. Одним із перспективних напрямів є створення сучасних матеріалів радіаційного захисту, здатних забезпечувати ефективне функціонування об'єктів атомної енергетики в умовах тривалої експлуатації.

Серед таких матеріалів важливу роль відіграють спеціальні цементи для конструкцій біологічного захисту. До них висуваються підвищені вимоги щодо механічної міцності, термічної стійкості, довговічності та здатності ефективно поглинати іонізуюче випромінювання.

Наразі для виготовлення захисних конструкцій переважно використовують портландцементні матеріали, властивості яких можуть погіршуватися під впливом радіації, високих температур і агресивних середовищ. Тому розроблення високоміцних спеціальних цементів із підвищеною радіаційною стійкістю, ефективним екрануванням γ -випромінювання та тривалим терміном експлуатації є актуальним науково-технічним завданням.

1 ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Сучасні аспекти поводження з радіоактивними відходами

У сучасних умовах погіршення радіаційної обстановки та зростання потреби у безпечному зберіганні й захороненні радіоактивних відходів особливого значення набуває створення ефективних радіаційно-захисних матеріалів [1 - 4].

Радіоактивні відходи (РАВ) - відходи, що містять радіоактивні ізотопи, хімічні елементи і не мають практичної цінності.

Радіоактивні відходи утворюються в різних формах з вельми різними фізичними і хімічними характеристиками (концентрації і періоди напіврозпаду складових їх радіонуклідів).

Ці відходи можуть утворюватися:

- в газоподібній формі (вентиляційні викиди установок, де обробляються радіоактивні матеріали);
- в рідкій формі (розчини сцинтиляційних лічильників з дослідних установок, рідкі високоактивні відходи, що утворюються при переробці відпрацьованого палива);
- у твердій формі (забруднені витратні матеріали, скляний посуд з лікарень, медичних дослідницьких установок і радіо фармацевтичних лабораторій, засклені відходи від переробки палива або відпрацьованого палива від АЕС, коли воно вважається відходами).

На об'єктах атомної промисловості і АЕС, крім рідких і твердих відходів, можливі викиди, що містять леткі сполуки радіоактивних ізотопів або самі радіоактивні ізотопи, такі як ^{131}I , ^{129}I , ^{85}Kr , а також утворення радіоактивних аерозолів. Всі ці викиди проходять спеціальну очисну систему й потім віддаляються в атмосферу через вентиляційну трубу [4, 5].

За способами і місцем зберігання можна виділити групи :

- Відходи, які зберігаються навалом без упаковки на відкритих майданчиках;
- Відходи, які зберігаються на відкритих майданчиках в контейнерах;

- Відходи, які зберігаються навалом без упаковки в заглиблених сховищах (ємності, не призначені для зберігання ТРО);
- Відходи, які зберігаються в будівлях і спорудах, які мають статус сховища.

Тверді радіоактивні відходи складаються з різних предметів, забруднених радіоактивними речовинами, як-то: зношених деталей технологічного обладнання, що прийшла в непридатність лабораторного посуду, спецодягу, трупів експериментальних тварин, будівельного сміття, відпрацьованих фільтрів для дезактивації газоподібних радіоактивних відходів, шламів з очисних пристроїв для рідких радіоактивних відходів і т. д. В установах, де ведуться роботи з радіоактивними речовинами, збір і затаривание твердих радіоактивних відходів здійснюється на обладнаних для цієї мети майданчиках, звідки їх видаляють за допомогою спеціального автотранспорту на пункти захоронення. Останні обладнують далеко від населених пунктів і відкритих водойм на незатоплюваній території з низьким рівнем підземних вод. Тут розміщують могильники, гараж, допоміжні та обслуговуючі приміщення. Могильники - великі підземні ємності для захоронення твердих (а при необхідності - невеликих кількостей рідких) радіоактивних відходів, ізольовані від ґрунтових вод та атмосферних опадів. Число їх і обсяг передбачають з урахуванням заповнення протягом десятків років. З урахуванням економічної доцільності допускається попереднє пресування і спалювання радіоактивних відходів у спеціальних печах при дотриманні відповідних санітарні вимог, які виключають забруднення навколишнього середовища і шкідливий опромінення персоналу [6 - 8].

Умови видалення і знешкодження радіоактивних відходів регламентуються санітарним законодавством (спеціальні санітарні правила). Контроль за його дотриманням забезпечується відомчої (дозиметричної) службою відповідних підприємств і установ, а також державним наглядом санітарного радіологічних підрозділів санітарно-епідеміологічних станцій. Обсяг і характер контролю встановлюється диференційовано, стосовно до

конкретних умов. Вихідними об'єктами контролю є радіоактивні відходи, що підлягають видаленню в навколишнє середовище. При необхідності контролюють вміст радіоактивних речовин у відповідних об'єктах, як-то: в атмосферному повітрі, рослинності, в ґрунті, харчових продуктах місцевого виробництва (молоко, м'ясо, овочі), у воді і рибі з відкритих водойм, що приймають стічні води. При наявності санітарних показань перевіряють рівні зовнішнього випромінювання на місцевості, а також встановлюють дози опромінення груп населення, які зазнають найбільшого ризику впливу іонізуючої радіації.

На сьогодні бетон є основним матеріалом для створення конструкцій біологічного захисту на атомних електростанціях та інших ядерних об'єктах. Однак традиційні бетони на портландцементі не завжди забезпечують необхідну довговічність і стійкість в умовах дії високих температур та іонізуючого випромінювання. Тому актуальним є розроблення нових високоміцних, жаро- та радіаційностійких цементів і бетонів для об'єктів атомної енергетики та систем зберігання радіоактивних відходів.

1.2 Інженерні підходи до захоронення радіоактивних відходів та вимоги безпеки

Захоронення відходів — це спосіб їх довготривалої ізоляції шляхом розміщення у глибоких геологічних формаціях або морських глибинах. У світі накопичено величезні обсяги промислових і побутових відходів, значна частина яких є твердими. У гірничодобувній промисловості при переробці руд у відходи переходить до 60–95% вихідної маси породи, що створює значні екологічні навантаження. Частина цих відходів використовується для рекультивації територій, однак інша підлягає захороненню.

Підземне розміщення відходів дозволяє зменшити забруднення поверхні та скоротити площі відчужених земель, але водночас створює ризику забруднення підземних вод і геологічного середовища. Значна частина рідких промислових відходів у світі досі скидається у водойми, що призводить до суттєвих економічних та екологічних втрат.

Радіоактивні відходи захоронують у спеціально підготовлених гірничих виробках, соляних шахтах, штучних підземних порожнинах, а також у гідрогеологічних структурах. Найбільш безпечними вважаються соляні формації, оскільки вони є водонепроникними та геологічно стабільними. У деяких випадках використовують старі нафтові та газові порожнини або штучно створені підземні сховища.

Окремим напрямом є морське захоронення низькоактивних відходів у спеціальних контейнерах на значних глибинах океану. Однак цей метод застосовується обмежено через високі екологічні ризики.

Безпека сховищ радіоактивних відходів регулюється міжнародними та національними нормативами. Вони визначають вимоги до вибору майданчика, проектування, будівництва, експлуатації та закриття сховищ. Обов'язковими є також системи радіаційного контролю та моніторингу довкілля.

Для кожного типу відходів встановлюються критерії приймання: допустима активність радіонуклідів, форма відходів, токсичність домішок, вимоги до контейнерів та маркування. Кожна партія відходів супроводжується паспортом із детальними характеристиками [9, 10].

Вибір майданчика для сховища враховує геологічну будову, стабільність порід, гідрологічні умови, щільність населення, транспортну інфраструктуру та можливий вплив на довкілля. Зазвичай розглядають кілька альтернативних варіантів з обов'язковою оцінкою екологічних ризиків.

В Україні радіоактивні відходи зберігаються на атомних електростанціях, у спеціалізованих підприємствах об'єднання «Радон», у зоні відчуження Чорнобильської АЕС (рис.1.1), а також у науково-дослідних установах і об'єкті «Укриття». Ці об'єкти забезпечують тимчасове або довгострокове зберігання з можливістю подальшої переробки.



Рисунок 1.1 - Приклад недобудованого сховища в Чорнобильській зоні

Відпрацьоване ядерне паливо містить продукти поділу та трансуранові елементи з високою радіаційною небезпекою. У світі існують різні підходи до його поводження: у США переважає довготривале зберігання (рис. 2), тоді як у країнах Європи застосовується переробка з вилученням корисних компонентів.



Рисунок 1.2 - Сховище для довготривалого зберігання радіоактивних відходи в Америці.

Переробка здійснюється гідрометалургійними методами, після чого утворюються рідкі та тверді відходи. На завершальному етапі їх переводять у стабільний твердий стан методом цементування або бітумування. Для підвищення довговічності матеріалів застосовують мінеральні добавки, які зменшують вимивання радіонуклідів і підвищують стійкість до води.

Таким чином, сучасна система поводження з радіоактивними відходами базується на поєднанні інженерних бар'єрів, геологічної ізоляції та постійного контролю, що дозволяє мінімізувати їх вплив на людину та навколишнє середовище.

1.3 Вимоги до матеріалів для радіаційного захисту в атомній енергетиці

Розвиток атомної енергетики, будівництво атомних електростанцій, реакторних установок і прискорювачів частинок потребують створення матеріалів, здатних забезпечувати надійний захист від іонізуючого випромінювання. Такі матеріали повинні поєднувати високі захисні властивості, механічну міцність, термостійкість і довговічність в умовах дії радіації та високих температур.

Іонізуюче випромінювання негативно впливає на живі організми, викликаючи іонізацію атомів і молекул у тканинах, що призводить до утворення хімічно активних сполук та пошкодження клітинних структур. Тому при проектуванні та експлуатації об'єктів атомної енергетики необхідно суворо дотримуватись норм радіаційної безпеки.

Матеріали для радіаційного захисту умовно поділяють на:

- легкі матеріали;
- матеріали із середнім атомним номером;
- важкі матеріали.

Для ослаблення гамма- та нейтронного випромінювання використовують спеціальні захисні екрани. Ефективність поглинання гамма-випромінювання зростає зі збільшенням атомного номера елементів, тоді як

для уповільнення нейтронів більш ефективними є речовини з низьким атомним номером, насамперед ті, що містять водень або бор.

Найбільш поширеними матеріалами біологічного захисту є спеціальні бетони, оскільки їх склад можна модифікувати введенням різних заповнювачів і добавок. До складу бетону входять як легкі елементи, що ефективно уповільнюють нейтрони, так і важкі компоненти, здатні поглинати гамма-випромінювання. Крім того, бетон практично не утворює інтенсивного вторинного випромінювання.

Основним в'язучим матеріалом у захисних бетонах традиційно є портландцемент. Однак при нагріванні вище 155–400 °С у ньому відбувається дегідратація гідратних сполук, що призводить до втрати міцності. За температур 600–800 °С структура цементного каменю практично руйнується. Для підвищення жаростійкості до складу бетону вводять тонкомолоті мінеральні добавки — шамот, базальт, золу-виносу, гранульований шлак та інші матеріали, які зв'язують вільне вапно та стабілізують структуру.

Для експлуатації в умовах підвищених температур використовують також глиноземисті цементи, які утворюють значну кількість хімічно зв'язаної води. Проте вони характеризуються високим тепловиділенням під час тверднення, що може спричинити внутрішні напруження та утворення тріщин.

Перспективними є магнезіальні та барієві цементи. Магнезіальні цементи містять велику кількість зв'язаного водню, однак можуть викликати корозію металевої арматури. Барієві цементи та барійвмісні композиції відзначаються високою здатністю поглинати гамма-випромінювання і підвищеною вогнетривкістю. Добрі результати також показують силікатно-барієві цементи, які зберігають щільну структуру та високу міцність при нагріванні.

Як заповнювачі для захисних бетонів застосовують барит, магнетит, гематит, серпентиніт, лімоніт та інші важкі мінерали. Вони дозволяють збільшити густину бетону до 3000 кг/м³ та підвищити вміст хімічно зв'язаної

води. Разом з тим такі бетони можуть мати недостатню морозостійкість, значну усадку та обмежену термостійкість [11, 12].

Під дією нейтронного та гамма-випромінювання у матеріалах виникають структурні дефекти, змінюються фізико-механічні властивості та відбувається радіаційне тепловиділення. При високих потоках випромінювання температура захисних конструкцій може досягати 1000–1200 °С, що призводить до зниження міцності бетону, збільшення повзучості та розвитку тріщин.

Дослідження показують, що жоден із сучасних матеріалів не забезпечує одночасно максимальний радіаційний захист, високу жаростійкість, міцність і економічність. Тому актуальним напрямом залишається створення нових композиційних в'язучих і бетонів з покращеними експлуатаційними та захисними характеристиками для використання в атомній енергетиці.

1.4 Спеціальні захисні цементи для жаростійких і радіаційно-захисних матеріалів

Сучасна ядерна, металургійна та вогнетривка промисловість потребує створення нових високотемпературних матеріалів, здатних ефективно працювати в умовах дії іонізуючого випромінювання, агресивних середовищ і значних термічних навантажень. Особливий інтерес у цьому напрямі становлять шпінельвмісні цементи та барій-алюмінатні в'язучі, які поєднують високу міцність, жаростійкість і радіаційно-захисні властивості.

1.4.1 Шпінельвмісні цементи

Шпінельвмісні цементи належать до класу високовогнетривких і швидкотверднучих в'язучих матеріалів. Їх мінералогічний склад характеризується наявністю шпінельних фаз та алюмінатів лужноземельних елементів. Найбільш поширеними є цементи на основі алюмомагнезійної шпінелі $MgO \cdot Al_2O_3$ та хромомагнезійної шпінелі $MgO \cdot Cr_2O_3$. Шпінель — типовий мінерал контактово-метасоматичних утворень, який виникає в пневматолітових і гідротермальних умовах на контакті з вапняками. Рідше вона спостерігається в магматичних породах, як продукт безпосередньої

кристалізації з магматичного розплаву, а інколи - в метаморфічних породах. Для шпінелі характерна асоціація з магнетитом, хондродитом, везувіаном, піроксенами, гранатами, хлоритами тощо. Завдяки особливостям кристалічної структури шпінелі мають високу термічну стабільність, механічну міцність і стійкість до агресивних середовищ.

Процеси тверднення шпінельних цементів пов'язані з поверхневими адсорбційними явищами та наявністю активних центрів кристалізації. До таких центрів належать дефекти кристалічної ґратки, поверхневі енергетичні стани, активатори та сенсibilізатори.

При затоваренні шпінельвмісного в'язучого водою в початковий період утворюються новоутворення у вигляді колоїдної рентгеноаморфної маси. До шести годин гідратації з колоїдної маси викристалізуються мікро кристали гідроксиду барію і гідро алюмінати барію. Розмір мікро кристалів на цій стадії становить 30 - 100 нм. Надалі процес гідратації шпінельвмісного в'язучого характеризується інтенсивним виникненням призматичних кристалів гідроксиду барію, які досягають розмірів до 8 мкм, і гідро алюмінатів барію у вигляді голок і пірамід.

Кристалічні новоутворення ростуть на поверхні шпінелі в активних центрах кристалізації. Роль активних центрів виконують дефекти кристалічної решітки (лінійного, плоского й об'ємного типів), а також особливі поверхневі стани, активатори, трапцентри, сенсibilізатори. Подальше зростання кристалічних новоутворень забезпечує формування щільної та міцної структури цементного каменю.

1.4.2 Барій-алюмінатні цементи

Особливе значення серед барій-алюмінатних систем має моноалюмінат барію $BaAl_2O_4$. Ця сполука характеризується високою температурою плавлення, вираженими в'язучими властивостями та здатністю інтенсивно гідратуватися. У процесі гідратації утворюються кристалогідрати типу $BaAl_2O_4 \cdot 7H_2O$, які формують щільний і міцний каркас цементного каменю.

Максимальна міцність досягається при низькому водоцементному співвідношенні, що забезпечує формування малопористої структури .

Система $BaO - Al_2O_3$ має широке застосування в силікатній технології. На її основі отримують барієво-алюмінатні цементи, високочастотну цельзіанову кераміку, вогнетриви. Особливий інтерес представляє моноалюмінат барію $BaAl_2O_4$, що має різко виражені в'язучі властивості і високою температурою плавлення. Це дає можливість застосовувати барієві глиноземисті цементи, основним мінералом яких є $BaAl_2O_4$; як зв'язку для отримання вогнетривких і високовогнетривких бетонів, що мають, у порівнянні з вогнетривкими бетонами на звичайних в'язучих (портландцемент, глиноземистий цемент, і ін.) багато переваг [11]; важких бетонів для біологічного захисту реакторів, і т.д. Система $BaO-Al_2O_3$ містить декілька стабільних фаз, серед яких найбільше практичне значення мають $BaAl_2O_4$, $Ba_3Al_2O_6$ та $BaAl_{12}O_{19}$ [12, 13]. Вони відзначаються високою вогнетривкістю, термічною стійкістю та здатністю поглинати гамма-випромінювання завдяки наявності барію. Саме тому барій-алюмінатні цементи застосовуються для виготовлення жаростійких бетонів, футерувальних матеріалів і важких бетонів біологічного захисту ядерних реакторів.

При нагріванні гідратованих барій-алюмінатних цементів відбувається ступінчаста дегідратація. Незважаючи на втрату частини зв'язаної води, матеріали зберігають високу щільність і здатність до спікання, що забезпечує їх термостійкість при високих температурах. На відміну від традиційних цементів, барійвмісні композиції характеризуються кращою стабільністю структури та підвищеною жаростійкістю.

Для створення ефективних вогнетривких бетонів важливе значення має правильний вибір заповнювачів і в'язучих компонентів. У сучасних технологіях дедалі частіше застосовують шпінельні цементи на основі алюмінатів барію, які забезпечують формування монолітних безшовних

футерувань. Такі матеріали мають кращу експлуатаційну надійність порівняно з традиційними штучними вогнетривами.

Перевагами барій-алюмінатних шпінельних цементів є:

- висока вогнетривкість;
- швидке тверднення;
- підвищена механічна міцність;
- стійкість до дії іонізуючого випромінювання;
- здатність працювати в агресивних середовищах;
- формування щільної малопористої структури.

Таким чином, барій-алюмінатні та шпінельні цементи є перспективною основою для створення нових жаростійких і радіаційно-захисних матеріалів, що можуть ефективно використовуватися в атомній енергетиці, металургії та високотемпературних технологіях.

1.5 Висновки за розділом 1

Інтенсифікація виробничих теплових процесів в різних галузях науки і техніки вимагає створення нових конструкційних матеріалів, які здатні крім впливу високих температур протистояти агресивному впливу розплавів, розчинів електrolітів, високого тиску. Вогнетривкі матеріали, існуючі нині, переважно є штучними виробами і вимагають додаткового шовного скріплення, що значно знижує термін експлуатації. Заміна штучних вогнетривів на монолітну безшовну бетонну футерування дозволяє виконати всі необхідні вимоги по експлуатаційній надійності теплового агрегату.

Основним напрямком при розробці технологічних рішень освіти без випалювальних вогнетривів є підбір оптимального якісного і речового складу заповнювач, що забезпечує формування при нагріванні до температури експлуатації необхідних фізико механічних і технічних характеристик робочого шару футеровки. В якості зв'язки при виробництві таких вогнетривів найчастіше використовуються алюмінатні цементи, а останнім час - шпінельні цементи, в тому числі і на основі алюмінатів барію.

Шпінельвмісні цементи відносяться до високовогнетривкі, швидко твердіє високоміцним в'язким. Аналіз літературних даних показує, що отримання бетонів з використанням шпінельвмісні цементів на основі алюмінатів барію з комплексом заданих експлуатаційних характеристик актуальною проблемою.

Тому, метою роботи є розроблення складу спеціального в'язучого матеріалу на основі сполук багатоконпонентних оксидних систем зі стабільними експлуатаційними властивостями в умовах одночасної дії жорсткого радіаційного опромінення та підвищених температур.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Дослідити області складів цементу на основі сполук перетину $\text{BaAl}_2\text{O}_4 - \text{Ba}_2\text{SiO}_4 - \text{Ba}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$ багатоконпонентної оксидної системи.
2. Визначити область, найбільш оптимальну з точки зору одержання спеціальних захисних цементів.
3. Розробити та синтезувати склади барійвмісного цементу з високими експлуатаційними характеристиками.
4. Визначити фізико-механічні та технічні властивості розробленого спеціального захисного цементу.

2. МЕТОДОЛОГІЧНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Об'єкт дослідження

Об'єкт дослідження є шпінельвмісні барій-алюмінатні цементи та композиційні матеріали на їх основі для іммобілізації радіоактивних відходів.

Предмет дослідження є синтез та дослідження процесів гідратації, структуроутворення та фізико-механічні, термостійких й радіаційно-захисних властивості захисних спеціальних цементів.

У роботі розглядаються результати дослідження, спрямованого на розроблення спеціального захисного барійвмісного цементу з комплексом високих експлуатаційних властивостей для використання в умовах підвищених температур та радіаційного впливу. Метою дослідження є створення спеціального захисного цементу на основі алюмінатів, силікатів та феритів барію з високими фізико-механічними характеристиками та підвищеною здатністю до поглинання гамма-випромінювання.

2.2 Матеріали досліджень

При виробництві жаростійких барійвмісних цементів до вихідних сировинних матеріалів пред'являють строгі вимоги по чистоті і однорідності хімічного складу, обумовлені необхідністю отримання кінцевого продукту строго заданого фазового складу. Використані технічні реактиви і природні матеріали повністю відповідають цим вимогам.

При розробці технології отримання барійвмісних цементів використовувалися барій-, алюміній-, кремній- і залізовмісні сировинні матеріали.

Вуглекислий барій технічний, що використовується в виробництві барієвих цементів, отримують з таких природних мінералів як барит і вітерит.

Барит $BaSO_4$ або важкий шпат кристалізується в ромбічній сингонії. Колір бариту білий або сірий, іноді червоний, жовтий або бурий (при фарбуванні залізом), а також блакитний і зеленуватий. Щільність бариту 4300 – 4500 $кг/м^3$, твердість 3 – 3,5. Крихкий. Родовища бариту в Україні відомі у Донецькій та Закарпатській областях [14]. Вміст бариту в рудах зазвичай не

відповідає вимогам промисловості, тому для підвищення його вмісту і зниження шкідливих домішок руди піддають збагаченню: флотації, гравітаційному або рудорозбиранням з промивкою. В результаті отримують товарний баритовий концентрат.

Алюмінійвмісна сировина. Глинозем – безводний оксид алюмінію, що існує в основному в α -, β -, γ - формах. У природних умовах зустрічається тільки гексагональна модифікація Al_2O_3 – β - форма, яка існує у вигляді мінералів – корунду, рубіна, сапфіра. Твердість корунду за шкалою Мооса – 9, щільність залежить від наявності домішок і коливається в межах 3980 – 4010 кг/м³, температура плавлення 2050 °С [15]. Тригональна модифікація Al_2O_3 – β - форма є умовним позначенням групи алюмінатів, що відрізняються вельми високим вмістом Al_2O_3 . При нагріванні до 1600 – 1700 °С β - глинозем переходить в α - Al_2O_3 .

Для отримання жаростійких цементів застосовують технічний глинозем, що містить не більше 2 мас.% домішок (SiO_2 , Fe_2O_3 , луги). Такий показник, як величина втрат при прожарюванні, який передбачається стандартом, не є критерієм якості глинозему.

Основні вимоги, що пред'являються до сировинних матеріалів при виробництві спеціальних цементів, обумовлені необхідністю отримання продукту певного фазового складу. Тому найважливішою умовою при виборі сировини є максимальний вміст основного оксиду, а також постійність і однорідність його хімічного складу. Цим вимогам задовольняють природні і штучно одержані технічні матеріали [16].

Для проведення досліджень використовувалася природна і технічна сировина, хімічний склад, якої представлений в табл.2.1.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад вихідних сировинних матеріалів

Найменування матеріалу	Вміст речовини мас. %								
	BaCO ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	R ₂ O	в.п.п.
Барійвмісні відходи виробництва	95,30	-	-	4,70	-	-	-	-	-
Глинозем марки Г-00	-	0,05	0,06	98,46	-	-	-	0,43	1,00
Піритові огарки	-	77,76	13,01	3,82	2,25	0,27	2,89	-	-
Пісок (Харківська обл.)	-	0,57	98,60	0,39	0,20	0,04	-	-	0,20

2.3 Методи досліджень

Для синтезу зразків заданого фазового складу проводилося послідовне подрібнення, формування і випалення сировинних сумішей.

Ретельне подрібнення і змішування сировинних компонентів здійснювалося в лабораторному фарфоровому млині «мокрим» способом (вологість 50 %). Тонкість помелу контролювалася ситовим аналізом (повний прохід крізь сито № 008) [17 - 20].

Сировинні суміші брикетувались на гідравлічному пресі типа П-125 заводу випробувальних машин при питомому тиску пресування 60 – 80 МПа.

Випалення брикетів проводилося в силітовій печі. Вимірювання температур в зоні випалення проводилися за допомогою ППР – термопари.

Повнота протікання синтезу клінкеру контролювалася методом хімічного аналізу по відсутності вільного оксиду барію.

Дослідження фазового складу продуктів випалення сировинних сумішей здійснювалося із залученням фізико-хімічних методів аналізу: рентгенофазного (дифрактометр ДРОН-4-07), електронно-мікроскопічного (растровий електронний мікроскоп – мікроаналізатор РЕММА-101А).

Фізико-механічні та технічні властивості визначатимуться згідно діючих ДСТУ.

Коефіцієнт масового поглинання гамма-випромінювання визначався відповідно до формули [13]:

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu \rho x_0} \quad (2.1)$$

де I , I_0 – інтенсивність падаючого випромінювання і інтенсивність випромінювання, що пройшла через матеріал густиною ρ і товщиною x_0 ;

μ – коефіцієнт масового поглинання.

Коефіцієнт масового поглинання постійний для даної речовини і не залежить від його фізичного стану. На підставі табличних даних μ простих елементів можна розрахувати μ складної речовини по формулі [13]:

$$\mu = \frac{\mu_1 a y_1 + \mu_2 b y_2 + \dots}{a y_1 + b y_2 + \dots} \quad (2.2)$$

де a , b – атомна вага елементів A , B ...;

y – стехіометричні коефіцієнти у формулі речовини A_{y1} , B_{y2} , ...

Можливість підсумовування μ простих елементів для розрахунку μ складних речовин пояснюється тим, що гамма-промені, пронизуючи речовину, взаємодіють з електронами внутрішніх оболонок атома, і на їх поглиннанні не позначаються зовнішні електрони, що беруть участь в хімічних зв'язках.

Технічні властивості розроблених матеріалів визначались за стандартними методиками: жаростійкість – за ISO 528:1983.

Математична обробка експериментальних даних здійснювалася з використанням програмних пакетів Microsoft Office Excel та Triangle 1.0.

Таким чином, обрані вихідні сировинні матеріали та методи дослідження дозволяють отримати та на високому технологічному рівні визначити фізико-механічні та технічні властивості розроблюваних цементів та бетонів на їх основі.

2.4 Висновки за розділом 2

Аналіз наукової та патентної літератури та можливостей лабораторії де проводилися дослідження для роботи було обрано цемент на основі алюмінатів, силікатів та феритів барію з високими фізико-механічними характеристиками та підвищеною здатністю до поглинання гамма-випромінювання. Було сформульовано мету і завдання досліджень. Таким чином, було обрано перспективна основа для створення нових жаростійких і радіаційно-захисних матеріалів, що можуть ефективно використовуватися в атомній енергетиці, металургії та високотемпературних технологіях.

3 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

На основі раніше проведених теоретичних досліджень виявлено оптимальну область багатокomпонентної оксидної системи, в якій можуть бути отримані барійсвмісні цементи нового класу з високими експлуатаційними властивостями на основі алюмінатів, силікатів та феритів барію. Вибір оптимальної області системи ґрунтувався на тому, що для отримання високоміцних цементів з високими захисними властивостями від радіаційного випромінювання, до неї повинні входити гідравлічно активні співіснуючі фази з високим коефіцієнтом масового поглинання гамма-випромінювання (чим вище вміст оксиду барію у сполуці, тим вище коефіцієнт масового поглинання гамма-квантів). Таким чином, для отримання високоміцних захисних цементів оптимальним є перетин $BaAl_2O_4 - Ba_2SiO_4 - Ba_2Fe_2O_5$, оскільки до його складу входять гідравлічно активні фази з високим коефіцієнтом масового поглинання.

3.1 Розрахунок захисних властивостей спеціального цементу

Розрахункове дослідження захисних властивостей складів спеціального барійсвмісного цементу проводили за методикою авторів [13] описаний у розділі 2.3.

Коефіцієнт масового поглинання постійний для даної речовини і не залежить від його фізичного стану. На підставі табличних даних μ простих елементів можна розрахувати μ складної речовини по формулі:

$$\mu = \frac{\mu_1 a y_1 + \mu_2 b y_2 + \dots}{a y_1 + b y_2 + \dots} \quad (3.1)$$

де a, b – атомна вага елементів $A, B \dots$;

y – стехіометричні коефіцієнти у формулі речовини A_{y_1}, B_{y_2}, \dots

Можливість підсумовування μ простих елементів для розрахунку μ складних речовин пояснюється тим, що гамма – промені, пронизуючи речовину, взаємодіють з електронами внутрішніх оболонок атома, і на їх поглинання не позначаються зовнішні електрони, що беруть участь в хімічних зв'язках.

BaO :

$$\mu(\text{Ba})/\mu(\text{BaO})=137.36/153.36=0,9$$

$$\mu(\text{O})/\mu(\text{BaO})=16/253.36=0,1$$

Al₂O₃ :

$$\text{Al}_2=2 \cdot \mu(\text{Al})/\mu(\text{Al}_2\text{O}_3)=54/102=0,52$$

$$\text{O}_3=3 \cdot \mu(\text{O})/\mu(\text{Al}_2\text{O}_3)=48/102=0,47$$

Fe₂O₃ :

$$\text{Fe}_2=2 \cdot \mu(\text{Fe})/2 \cdot \mu(\text{Fe}_2\text{O}_3)=104/152=0.68$$

$$\text{O}_3=3 \cdot \mu(\text{O})/\mu(\text{Fe}_2\text{O}_3)=48/152=0.31$$

Розрахунок коефіцієнту масового поглинання, (см²/г):

$$1) \mu(\text{BaO})= \mu(\text{Ba}) \cdot v(\text{Ba})+ \mu(\text{O}) \cdot v(\text{O})=359 \cdot 0.9+12,7 \cdot 0,1=324,4$$

$$2) \mu(\text{Al}_2\text{O}_3)=\mu(\text{Al}_2) \cdot v(\text{Al}_2)+\mu(\text{O}_3) \cdot v(\text{O}_3)=48.7 \cdot 0.52+12,7 \cdot 0.47=31.293$$

$$\mu(\text{Fe}_2\text{O}_3)= \mu(\text{Fe}_2) \cdot v(\text{Fe}_2)+\mu(\text{O}_3) \cdot v(\text{O}_3)=259 \cdot 0.68+12,7 \cdot 0.31=180,057$$

Формула для розрахунку загального коефіцієнту масового поглинання:

$$\mu=\mu(\text{BaO})_n \cdot v(\text{BaO})_n+ \mu(\text{Al}_2\text{O}_3)_n \cdot v(\text{Al}_2\text{O}_3)_n+\mu(\text{Fe}_2\text{O}_3)_n \cdot v(\text{Fe}_2\text{O}_3)_n; \quad (4.2)$$

Розрахунок коефіцієнту масового поглинання перспективних складів, (см²/г):

$$1) 324,4 \cdot 0,6761+31,293 \cdot 0,1996+180,057 \cdot 0,1241=241.91;$$

$$2) 324,4 \cdot 0,7062+31,293 \cdot 0,1198+180,057 \cdot 0,1738=264,13;$$

$$3) 324,4 \cdot 0,7214 + 31,293 \cdot 0,798 + 180,057 \cdot 0,1986 = 294,75.$$

Таким чином, для отримання високоміцних захисних цементів оптимальним є перетин $\text{BaAl}_2\text{O}_4 - \text{Ba}_2\text{SiO}_4 - \text{Ba}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$, оскільки до його складу входять гідравлічно активні фази з високим коефіцієнтом масового поглинання. У результаті проведених досліджень встановлено, що кожна з фаз, що входять до складу цементу максимально відповідальна за певні властивості композиції в цілому, а саме: зі збільшення вмісту фази $\text{Ba}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$ зростає коефіцієнт масового поглинання гамма-променів до $280 \text{ см}^2/\text{г}$.

3.2 Розробка та оптимізація складів барійвмісних цементів

Приготовані сировинні суміші випалювалися в інтервалі температур $1200-1400 \text{ }^\circ\text{C}$ з ізотермічною витримкою 2 – 3 години залежно від фазового складу клінкеру.

Із залученням симплекс-ґратчастого методу планування експерименту, розробленого авторами [21], спрогнозовані основні властивості барійвмісних цементів на основі алюмінатів, силікатів та феритів барію.

Перевірка адекватності проведених розрахунків проводилася постановкою експериментів в додаткових контрольних точках. Розрахункові і експериментальні значення міцності і коефіцієнта масового поглинання приведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 - Значення коефіцієнта масового поглинання і механічної міцності складів захисного цементу

Фазовий склад, мас. %			Коефіцієнт масового поглинання гамма-променів, μ , $\text{см}^2/\text{г}$		Межа міцності при стиску, через 28 діб тверднення, МПа	
$\text{Ba}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$	BaAl_2O_4	Ba_2SiO_4	розрахунковий	контрольний	розрахунковий	контрольний
80	10	10	281,15	281,17	35,9	36,0
70	20	10	272,70	272,69	55,5	57,0

70	15	15	276,17	276,15	62,4	60,0
60	20	20	271,15	271,14	77,5	76,0
45	40	15	254,98	254,95	64,4	66,0
30	40	30	252,65	252,63	58,4	57,0
20	50	30	244,15	244,15	57,9	60,0
10	50	40	242,64	242,61	67,6	68,0

Таким чином, в результаті проведених розрахункових і експериментальних досліджень оптимізовані склади нового класу барійвмісних цементів на основі композицій і встановлено, що оптимальними є склади, що містять 50 – 60 мас. % дібарієвого фериту або дібарієвого силікату, а також 20 – 50 мас. % моноалюмінату барію.

3.3 Дослідження фізико-механічних властивостей оптимального складу барійвмісного цементу.

Визначені фізико-механічні властивості синтезованих складів захисних барійвмісних цементів нового класу. Хімічний і фазовий склади синтезованих цементів, а також результати їх фізико-механічних випробувань представлені в табл. 3.2 та 3.3.

Таблиця 3.2 - Хімічний і фазовий склади захисних цементів

№ складу	Хімічний склад, мас. %				Фазовий склад, мас. %			
	BaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	BaAl ₂ O ₄	Ba ₂ Fe ₂ O ₅	Ba ₂ SiO ₄	Ba ₃ Fe ₂ O ₆
1	68,19	7,99	20,54	3,28	20	60	20	-
2	66,40	7,99	23,97	1,64	20	70	10	-
3	66,11	15,97	16,28	1,64	40	40	10	10

Таблиця 3.3 - Фізико-механічні властивості захисних цементів

№	В/Ц	Терміни тужавлення, год-хв		Межа міцності при стиску, МПа, у віці, доба				μ, см ² /г
		початок	кінець	1	2	7	28	
1	0,16	0-25	1-10	45,0	64,0	76,0	79,0	271,2
2	0,15	0-30	1-35	42,0	53,0	58,0	61,0	272,6
3	0,28	0-15	0-20	28,0	35,0	41,0	45,0	256,5

Як видно з представлених результатів, оптимальним складом, який має високу міцність та високий коефіцієнт масового поглинання гамма-випромінювання є склад № 1.

У результаті проведеного рентгенографічного аналізу синтезованих при температурі 1500 °С і ізотермічній витримці 3 години клінкерів захисних цементів з підвищеною вогнетривкістю встановлено, що фазовий склад представлений основними мінералами Ba_2SiO_4 , $BaAl_2O_4$, $Ba_2Fe_2O_5$.

Таким чином, встановлена можливість отримання захисних цементів з підвищеними вогнетривкими властивостями. Одержані вогнетривкі барійвмісні цементы характеризуються вогнетривкістю понад 1600 °С, міцністю на стиск у віці 28 діб тверднення 50 – 60 МПа, низьким водоцементним співвідношенням і є швидкоотужавними.

Виявлено вплив підвищених температур на міцнісні характеристики захисних цементів і встановлено, що максимальні втрати механічної міцності при нагріванні до 1200 °С складають до 14 % в інтервалі температур 300 – 800 °С, що вигідно відрізняє їх від використовуваних в даний час захисних матеріалів. Порівняно низькі втрати міцності при нагріванні у барійвмісних цементов можна пояснити тим, що вода в

досліджуваній структурі цементного каменя носить характер цеоліту і віддаляється східчасто в широкому інтервалі температур.

Проведено дослідження барійвмісного цементу на основі, розрахований фазовий склад якого містить 20 мас. % $BaAl_2O_4$, 20 мас. % Ba_2SiO_4 і 60 мас. % $Ba_2Fe_2O_5$.

Результатами фізико-хімічних досліджень чітко ідентифікуються дифракційні максимуми, що відповідають основним клінкерним мінералам (рис.3.1): $Ba_2Fe_2O_5$ ($d = 0,4662; 0,3705; 0,3409; 0,3144; 0,3095; 0,3007; 0,293; 0,289; 0,2547; 0,2353; 0,2323; 0,2233; 0,2113; 0,2047; 0,2013; 0,1967; 0,1924; 0,1718; 0,1662$ нм); Ba_2SiO_4 ($d = 0,5069; 0,4183; 0,3705; 0,3517; 0,3409; 0,3095; 0,3007; 0,293; 0,289; 0,286; 0,2547; 0,2516; 0,2425; 0,2384; 0,2233; 0,2091; 0,2056; 0,2028; 0,2013; 0,1967; 0,1924; 0,1901; 0,1861; 0,1756; 0,1738; 0,1718; 0,1705; 0,1681; 0,1629; 0,1592; 0,1494; 0,1451; 0,1414; 0,1364$ нм); $BaAl_2O_4$ ($d = 0,4356; 0,3161; 0,2631; 0,2256; 0,2021; 0,1679; 0,1581; 0,1345$ нм).

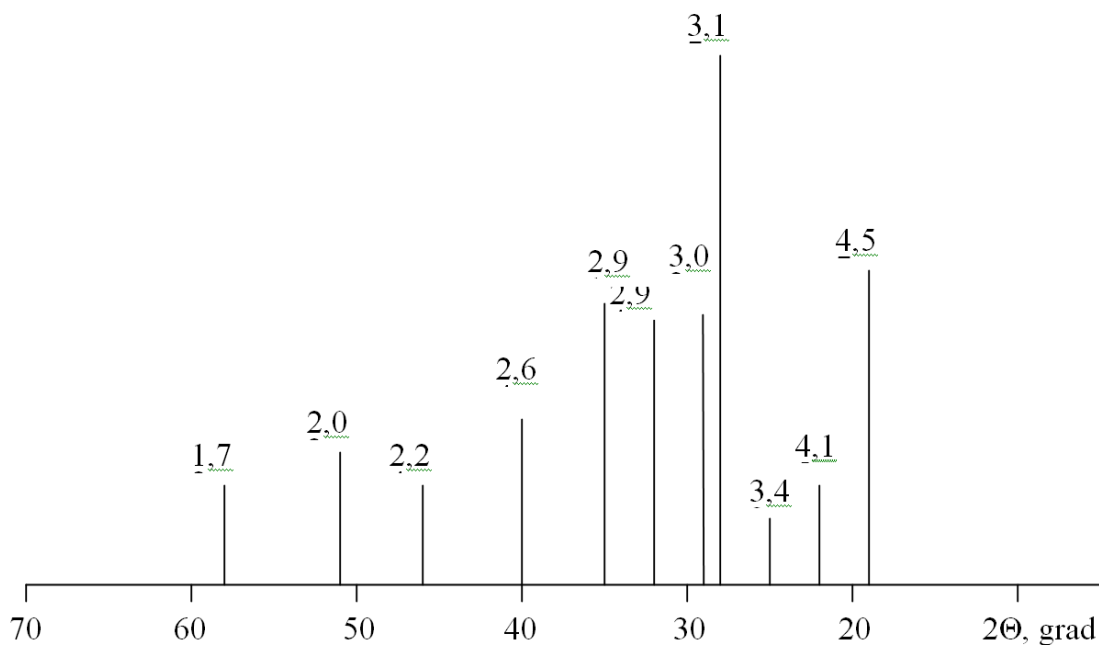
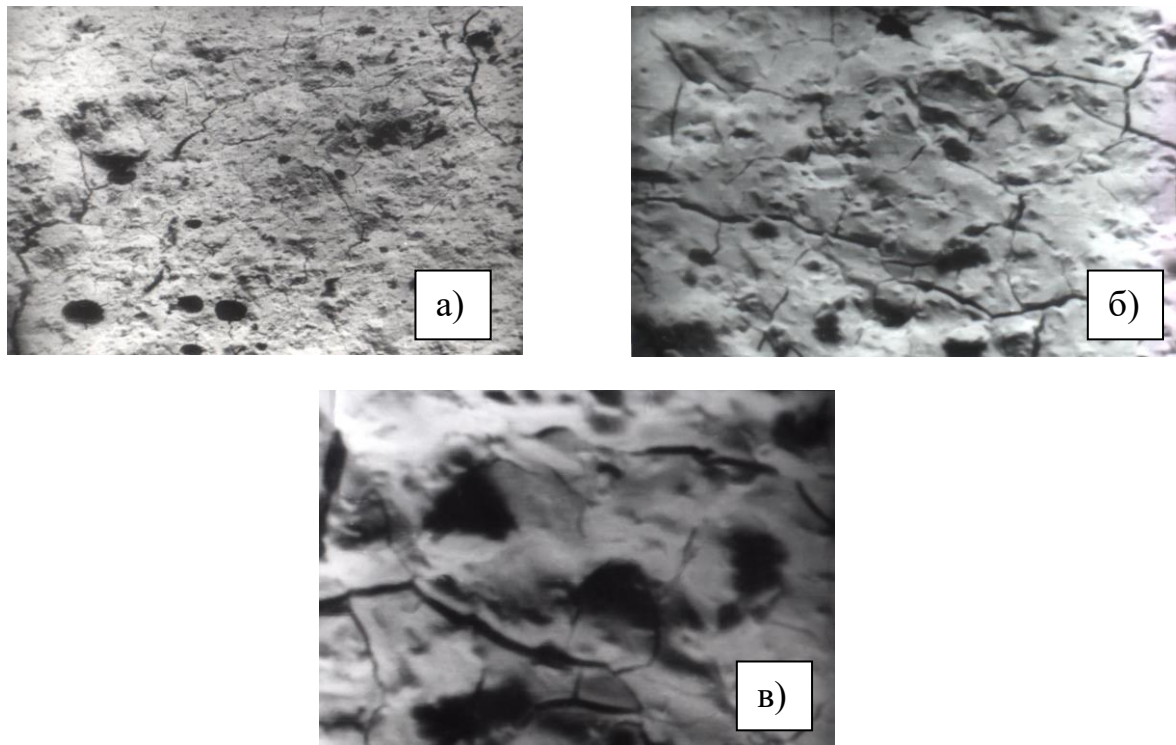


Рисунок 3.1 - Штрих-рентгенограма спеціального захисного барійвмісного цементу оптимального складу.

Результати дослідження клінкеру спеціального захисного цементу із залученням скануючої електронної мікроскопії представлені на рис. 3.2.



**Рисунок 3.2 – Структура клінкеру зразків оптимального цементу:
а) збільшення $\times 500$; б) збільшення $\times 2000$; в) збільшення $\times 5000$**

Як видно з представлених результатів на репліках відзначається структура клінкеру зі специфічною текстурою, що обумовлено, з одного боку, його доброю спеченістю, в монолітному конгломераті не спостерігається окремих зерен, а з іншого боку, його доброю розмелюваністю (на поверхні досліджених зразків присутні численні тріщини мікро- і макрорівня, а також округлі пори з насічками різного діаметру до 5 мкм).

Встановлено, що отриманий клінкер цементу має поліфазний склад, мінералогічний склад якого:

– анізотропна речовина, безбарвна, прозора з $N = 1,680$, що відповідає

BaAl_2O_4 , його, приблизно, 15 – 18 мас. %;

– ізотропне червонувато-буре новоутворення з $N \sim 2$, що відповідає $\text{Ba}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$, його, приблизно, 55 – 60 мас.%;

– анізотропна маса зі світлозаломленням близьким до 1,8, що відповідає Ba_2SiO_4 в кількості 20 мас. %.

Встановлено, що властивості цементу визначаються співвідношенням фаз: збільшення $\text{Ba}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$ підвищує коефіцієнт поглинання γ -випромінювання до $280 \text{ см}^2/\text{г}$, а при співвідношенні $\text{BaAl}_2\text{O}_4 : \text{Ba}_2\text{SiO}_4$ і $\text{BaAl}_2\text{O}_4 : \text{Ba}_2\text{Fe}_2\text{O}_5 = 1:1$ досягається міцність 60–70 МПа.

Таким чином, розрахунковий склад барійвмісного захисного клінкеру з достатньою вірогідністю відповідає кількісному та якісному співвідношенню фаз у реальному клінкері, що дає можливість цілеспрямованим синтезом отримувати спеціальний цемент заданого фазового складу та розробляти на його основі жаростійкі радіаційностійкі бетони для елементів конструкцій біологічного захисту.

3.4 Висновки за розділом 3

Таким чином, підтверджено можливість одержання барійвмісних цементів із підвищеними вогнетривкими властивостями. Розроблені цементи характеризуються вогнетривкістю понад $1600 \text{ }^\circ\text{C}$, міцністю на стиск у віці 28 діб тверднення на рівні 50–60 МПа, низьким водоцементним співвідношенням та швидким набором міцності.

Досліджено вплив підвищених температур на міцнісні характеристики барійвмісних цементів. Встановлено, що максимальне зниження механічної міцності після нагрівання до $1200 \text{ }^\circ\text{C}$ не перевищує 14 % і спостерігається в інтервалі температур 300–800 $^\circ\text{C}$. Отримані результати свідчать про вищу термостійкість розроблених матеріалів порівняно з традиційними захисними цементними системами.

Незначні втрати міцності при нагріванні пояснюються особливостями структури цементного каменю, в якому зв'язана вода перебуває переважно у цеолітоподібному стані та видаляється поступово в широкому

температурному діапазоні. Це сприяє зниженню внутрішніх напружень і забезпечує збереження цілісності структури матеріалу при високотемпературному впливі.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

4.1 Загальна характеристика умов проведення науково-дослідної роботи

Охорона праці являє собою комплексну систему взаємопов'язаних правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних та лікувально-профілактичних заходів, спрямованих на забезпечення безпечних умов праці, збереження життя, здоров'я та працездатності людини в процесі виконання трудових обов'язків [22]. Основним об'єктом цієї системи є працівник та умови його виробничого середовища. У зв'язку з цим особлива увага приділяється вивченню взаємодії людини з технологічним обладнанням, виробничими процесами, а також особливостями організації праці та виробництва. Оскільки трудова діяльність займає значну частину життя людини, рівень безпеки та комфортності умов праці істотно впливає на її працездатність, продуктивність, якість виконання професійних обов'язків і стан здоров'я. Важливість цих факторів підтверджується даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, відповідно до яких соціальні умови, зокрема умови праці та побуту, формують до половини показників здоров'я населення. Це свідчить про необхідність створення безпечного виробничого середовища як одного з важливих чинників суспільного добробуту.

Хімічна промисловість належить до галузей із підвищеним рівнем професійного ризику, оскільки пов'язана з використанням речовин та технологічних процесів, що можуть становити небезпеку як для працівників, так і для довкілля. Тому під час виконання даної науково-дослідної роботи, яка передбачає роботу з потенційно шкідливими речовинами, обов'язковим є застосування відповідних засобів індивідуального захисту. Аналіз

небезпечних і шкідливих виробничих факторів, характерних для проведення експериментальних досліджень, а також токсикологічні характеристики використаних речовин і матеріалів наведено в таблицях 4.1 та 4.2 відповідно.

Опис пожежо- та вибухонебезпечних властивостей речовин і матеріалів не подається у зв'язку з відсутністю у складі досліджуваних систем горючих компонентів. Відповідно до чинних нормативних документів [23], лабораторні приміщення віднесені до категорії В за пожежною та вибухопожежною безпекою, тоді як термічне відділення належить до категорії Г. Ступінь вогнестійкості будівлі лабораторії визначено як III згідно з вимогами нормативного документа [24].

Таблиця 4.1 – Ідентифікація шкідливих та небезпечних виробничих факторів та визначення їхніх джерел

Шкідливі та небезпечні виробничі фактори [25]	Нормативно-технічний акт, що регулює стандарти безпеки	Джерела виникнення	Специфіка взаємодії факторів з організмом людини	Нормовані показники та їх значення
1	2	3	4	5
Шум	[26,27]	Млин, вентиляційна система	За частоти 1000 Гц, шум 30-60 дБА чинить психологічну дію на ЦНС. У діапазоні 60-90 дБА виникають психологічні та фізіологічні ефекти, включно з ризиком розвитку шумової хвороби. 130 дБА відповідає больовому порозу, а 150 дБА може спричинити механічний розрив барабанних перетинок	Рівень шуму, L_A , дБА, $L_A=60$ дБА, рівень звукового тиску L_p , дБ
Запиленість	[28,29]	Завантажування та розвантажування млинів, приготування мас	Пил потрапляючи на шкіру викликає подразнення шкіри та слизової оболонки, проникає в легені, викликаючи хвороби (див. табл. 4.2)	ГДК у повітрі робочої зони, mg/m^3 (див. табл. 4.2)
Статична	[30,31]	Млин, дробарка,	Здійснює вплив на ЦНС,	Мінімальна енергія

електрика		сушильна шафа, вентиляційні ходи	втома, порушення сну, погіршення апетиту та інше	запалювання, мДж
Шкідливі речовини (Al ₂ O ₃ , SiO ₂ , BaCO ₃ , Fe ₂ O ₃)	[32,33]	Приготування шихти	Див. табл. 4.2	ГДК у повітрі робочої зони мг/м ³ (див. табл. 4.2)

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5
Несприйнятливий мікроклімат (підвищена температура матеріалу та поверхні обладнання)	[33,34]	Сушильна шафа	Виникнення порушення терморегуляції організму	Допустимі та оптимальні температури, t, °C, відносна вологість φ, %, швидкість руху повітря v м/с (див. табл. 4.3)
Механічні фактори	[35]	Рухливі частини машин та механізмів	За недбалого користування стає причиною травматизму	
Висока електрична напруга 230/400 В	[36,37]	Щит управління, дробарка, млин, сушильна шафа	Проходження електричного струму крізь організм людини спричиняє дію: термічну (опіки, нагрів тканин), електричну (енергетичне розкладання органічних рідин), механічну (розриви тканин і шкіри) та біологічну (порушення біоелектричних процесів)	По силі дії струм поділяється: 1) порогово-відчутний, змінний 0,6-1,6 мА, постійний 5-7 мА; 2) Мінімальний невідпускаючий струм, змінний 10-15 мА, постійний 50-8- мА; 3) фібриляційний, змінний >50-100 мА, постійний 300 мА, верхня межа 5мА
Вібрація	[38,39]	Вентиляційний пристрій, млин	Вібрація 0,7 Гц може викликати "морську хворобу", діапазон 4-6 Гц призводить до коливань голови та плечей відносно основи тіла у сидячому положенні, а частоти 6-9 Гц можуть спричинити вібраційну хворобу. Локальна вібрація (35-70 Гц), зі свого боку, викликає спазми судин.	Віброприскорення a, м/с ² , віброшвидкість v, м/с, або їх логарифмічні рівні L _v , L _a , дБ.

Згідно з вимогами нормативного документа [40], лабораторне приміщення належить до категорії приміщень із підвищеною небезпекою ураження електричним струмом. Така класифікація обумовлена можливістю одночасного дотику працівників до заземлених металевих конструкцій будівлі, технологічного обладнання та металевих корпусів електроустановок. Відповідно до положень документа [41], лабораторія відноситься до зон класів П-ІІ та П-ІІа.

Щодо забезпечення безпечної евакуації персоналу, відстань від найбільш віддаленого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу становить 10 м, що відповідає встановленим вимогам. Площа приміщення в розрахунку на одного працівника дорівнює 7,5 м², що перевищує мінімально допустиме значення 4,5 м², регламентоване нормативним документом [42]. Об'єм лабораторного приміщення також відповідає чинним нормам і забезпечує понад 15 м³ повітряного простору на одного працівника [42].

Параметри мікроклімату для проведення експериментальних досліджень визначено відповідно до вимог нормативних документів [37, 27] з урахуванням категорії виконуваних робіт за рівнем енерговитрат та сезонних умов експлуатації приміщення. Рекомендовані оптимальні показники мікроклімату, встановлені на основі зазначених критеріїв, наведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.2 – Характеристика речовин та матеріалів, що утворюються при дослідженнях.

Найменування речовин (матеріалу)	Клас небезпечності [29]	ГДК у повітрі робочої зони, мг/м ³ [37]	Характер дії речовин на організм людини	Заходи безпеки та перша допомога
1	2	3	4	5

Al_2O_3 (глинозем)	4	6	Алюмініоз, поразка легень, подразнення верхніх дихальних шляхів, катаракти ВДШ, пневмосклероз, неврит слухового нерву, подразнення очей та шкіри	Протипилові респіратори «ШБ-1» «Пелюстка», «Айстра-2», «УК-2», захист шкіри та очей за допомогою спецодягу та захисних окулярів, застосування ізолюючих шламів з подачею чистого повітря, вентиляція
---------------------------------------	---	---	--	--

Продовження таблиці 4.2

1	2	3	4	5
Fe_2O_3	3	3	Оксид заліза роздратовує слизисту оболонку, визиває опіки очей, на шкірі стовщення та з'язвлення	Протигаз марки БКФ, респіратори типу «Айстра», «Пелюсток», захист шкіри та очей за допомогою спецодягу та захисних окулярів, вентиляція.
SiO_2	3	1	Вплив може призвести до силікозу, ураження легень, а також подразнення слизових оболонок дихальних шляхів, очей та шкірних покривів.	Протипилові респіратори «ШБ-1» «Пелюстка», «Айстра-2», «УК-2», захист шкіри та очей за допомогою спецодягу та захисних окулярів, застосування ізолюючих шламів з подачею чистого повітря, вентиляція
BaCO_3	4	6	Поразка легень, подразнення верхніх дихальних шляхів, пневмосклероз, катаракти ВДШ, подразнення очей та шкіри	Респіратор, захист очей та шкіри за допомогою спецодягу та захисних окулярів, використання вентиляцій. Мілкі травми обробляють спиртом, бензином, покривають пов'язкою.

Таблиця 4.3 – Оптимальні параметри мікроклімату

Категорія робіт по енерговитратам	Період року	Температура $^{\circ}\text{C}$	Відносна вологість, % не більш	Швидкість руху повітря, м/с, не більше
		Оптимальна	Оптимальна	Оптимальна
Середньої	Холодний	18-20	40-60	0,2

важкості Пб	Теплий	21-23	40-60	0,3
----------------	--------	-------	-------	-----

Оптимальні мікрокліматичні умови – це таке поєднання параметрів мікроклімату, що при тривалому та регулярному впливі на людину підтримує нормальний тепловий стан організму, не вимагаючи активізації механізмів терморегуляції. Фізичні роботи середньої важкості (категорія П) класифікуються за рівнем енерговитрат. Категорія Па включає види діяльності з витратою енергії 176-232 Вт (151-200 ккал/год.). Ці роботи зазвичай пов'язані з ходінням або переміщенням дрібних (до 1 кг) виробів чи предметів у положенні стоячи або сидячи, вимагаючи певного фізичного напруження. До категорії Пб належать роботи з енерговитратами 233-290 Вт (201-250 ккал/год.), які виконуються стоячи, передбачають ходіння, переміщення невеликих (до 10 кг) вантажів і супроводжуються помірним фізичним напруженням [34]. Характеристика виробничого освітлення у табл. 4.4 [43].

Таблиця 4.4 – Характеристика умов виробничого освітлення

Характеристика зорової роботи	Розряд та підрозряд зорової роботи	Характеристика фону	Контрастність об'єкта розпізнавання відносно фону	Природне освітлення		Штучне		Джерело освітлення, тип світильника
				Вид	e_n^{III} %	Вид	E_{min} , лк	
Середньої точності	IV _Г	Світлий	Великий	Бічне	1,5	Загальне	150	Люмінесцент на лампа ЛД 40-4, тип освітлювача ЛСПО1 П 40

Приміщення лабораторії знаходиться в IV поясі світового клімату, то

$$e_n^{IV} = e_n^{III} \cdot t \cdot c$$

де m -коефіцієнт світового клімату, дорівнює 0,85 (для міст України);

e_n^{III} – нормове значення КПО для III поясу світлового клімату в залежності від розряду зорових робіт, виду освітлення, дорівнює 1,5;

c – коефіцієнт сонячності клімату, дорівнює 1.

$$e_n^{IV} = 1,5 \cdot 0,85 \cdot 1 = 1,28\%$$

Для забезпечення адекватного рівня протипожежного захисту в лабораторних та виробничих приміщеннях застосовується комплекс взаємопов'язаних заходів. Ці заходи охоплюють як системи своєчасного сповіщення про виникнення пожежі, так і засоби для її ефективного приборкання.

До основних заходів системи протипожежного захисту належать:

- організація ефективної системи виявлення та оповіщення про пожежу, що включає автоматичні засоби контролю з використанням димових, теплових і полум'яних сповіщувачів для своєчасного виявлення ознак загоряння та подачі звукових і світлових сигналів тривоги, а також застосування засобів радіо- та телефонного зв'язку для оперативного інформування персоналу і відповідних служб;
- забезпечення приміщення первинними засобами пожежогасіння та підтримання їх у справному стані, що дає змогу локалізувати осередок займання й ліквідувати пожежу на початковій стадії її розвитку до прибуття пожежно-рятувальних підрозділів. Для цього передбачено наявність вуглекислотного вогнегасника ВВК-2А (1 шт.), повітряно-пінного вогнегасника ВПП-10 (1 шт.), ящика з піском (1 шт.) та пожежного покривала (кошми).

4.2 Комплекс заходів із забезпечення безпеки

У зв'язку з різноманітністю експериментальних операцій, що виконуються під час проведення досліджень, забезпечення безпечних і комфортних умов праці потребує реалізації комплексу організаційних та

технічних заходів. Зокрема, температура повітря в лабораторному приміщенні повинна підтримуватися на рівні (22 ± 2) °С. Для безпечної експлуатації скловарної печі та сушильної шафи необхідно передбачити їхню ефективну теплоізоляцію, а всі поверхні та елементи з високою температурою мають бути обладнані захисними огородженнями. Важливою умовою є також наявність спеціальної платформи для обслуговування технологічного обладнання. Крім того, лабораторія повинна бути оснащена ефективною системою витяжної вентиляції, а персонал забезпечений необхідними засобами індивідуального захисту, зокрема спеціальним одягом, захисними окулярами та рукавичками.

Електропостачання обладнання хімічної лабораторії здійснюється від мережі змінного струму напругою 230 В і 400 В частотою 50 Гц із використанням трифазної трипровідної системи з ізольованою нейтраллю. Відповідно до вимог пункту 1.7 загальних правил безпеки під час роботи в хімічних лабораторіях, усе електрообладнання та електроінструмент, що працюють під напругою понад 36 В, повинні бути надійно заземлені. Експлуатація такого обладнання регламентується положеннями НПАОП 40.1-1.32-01, що встановлюють обов'язкові вимоги щодо забезпечення електробезпеки персоналу.

Важливе місце серед заходів охорони праці займають проектні рішення, спрямовані на захист працівників від ураження електричним струмом. Для цього застосовуються електротехнічні пристрої у закритому виконанні, які виключають можливість випадкового контакту зі струмопровідними частинами. Додатково використовуються комплексні захищені апарати та прилади, конструкція яких унеможливує доступ до елементів, що перебувають під напругою. Реалізація таких технічних рішень є необхідною умовою безпечної роботи в лабораторному середовищі.

До основних схемно-конструктивних заходів електробезпеки належать: застосування захисного заземлення та занулення електрообладнання; використання пристроїв захисного вимкнення (ПЗВ) і диференційних автоматів, які забезпечують оперативне відключення живлення у разі появи струмів витоку; надійна діелектрична ізоляція та використання закритих корпусів для унеможливлення доступу до струмопровідних елементів; застосування безпечної наднизької напруги в умовах підвищеної небезпеки; автоматичне відключення електроживлення при аварійних режимах роботи, зокрема перевантаженнях або коротких замиканнях; встановлення попереджувальних написів, маркування та знаків безпеки.

Пожежна безпека хімічної лабораторії забезпечується комплексом заходів, що включає системи попередження виникнення пожеж, засоби протипожежного захисту та організаційно-технічні рішення, які реалізуються відповідно до вимог нормативного документа [44].

4.3 Особиста безпека праці

Для створення безпечних умов праці під час проведення науково-дослідних робіт у хімічних лабораторіях застосовується комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на захист здоров'я та життя працівників. Важливими складовими цієї системи є використання засобів індивідуального захисту та проходження встановлених інструктажів з питань охорони праці.

Відповідно до вимог [38], працівники лабораторій повинні бути забезпечені такими засобами індивідуального захисту: лабораторним халатом для захисту тіла та одягу, гумовими рукавичками для захисту рук від дії хімічних речовин, захисними окулярами для запобігання потраплянню небезпечних речовин в очі, а також засобами захисту органів дихання, зокрема респіратором типу ШБ-1 «Пелюстка».

З метою підвищення рівня безпеки праці та попередження виробничого травматизму передбачено проведення таких обов'язкових заходів: вступного інструктажу з охорони праці для всіх працівників; первинного інструктажу безпосередньо на робочому місці перед початком виконання робіт; повторного інструктажу, який проводиться не рідше одного разу на шість місяців з метою актуалізації та закріплення знань щодо вимог охорони праці, правил безпечної роботи та виробничих інструкцій; періодичних медичних оглядів для контролю стану здоров'я працівників і своєчасного виявлення можливих професійних ризиків.

Розрахунок коефіцієнта (або кратності) повітрообміну

Розрахунок коефіцієнта (або кратності) повітрообміну в лабораторії визначає, скільки разів на годину повний об'єм повітря в приміщенні має повністю оновитися. Це гарантує безпеку, видалення шкідливих випарів та дотримання норм [42].

Формула для розрахунку об'єму повітря: $L = n \times V$

де: L — необхідна витрата повітря, $\text{м}^3/\text{год}$; n — нормативний коефіцієнт (кратність) повітрообміну за 1 годину; V — геометричний об'єм приміщення (довжина \times ширина \times висота), м^3 .

Для лабораторії загального призначення площею 20 м^2 , з висотою стель 3 м , кількість лаборантів: 2 особи. Нормативна кратність повітрообміну (n) для звичайних хімічних лабораторій становить від 4 до 8 (візьмемо $n = 6$).

Розрахунок об'єму приміщення: $V = 20 \times 3 = 60 \text{ м}^3$

Розрахунок необхідної витрати повітря: $L = 6 \times 60 = 360 \text{ м}^3/\text{год}$.

Висновок: для безпечної роботи вентиляційна система повинна подавати та видаляти 360 кубометрів повітря на годину.

4.4 Висновки за розділом 4

У цьому розділі проведено аналіз умов виконання науково-дослідної роботи та оцінено фактори, що впливають на безпеку праці під час експериментальних досліджень. Розглянуто основні небезпечні та шкідливі

виробничі фактори, токсикологічні характеристики використовуваних речовин, а також виконано оцінювання параметрів мікроклімату та виробничого освітлення відповідно до чинних нормативних вимог. Встановлено, що дотримання правил охорони праці є необхідною умовою безпечного проведення досліджень і запобігання негативному впливу на здоров'я працівників. Розраховано коефіцієнт повітрообміну в лабораторії (площею 20 м², з висотою стель 3 м): для безпечної роботи вентиляційна система повинна подавати та видаляти 360 кубометрів повітря на годину.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Хімічна промисловість є однією з провідних галузей національної економіки, що характеризується різноманітністю виробленої продукції. Вона забезпечує випуск як готових продуктів, так і проміжних речовин, які використовуються в багатьох інших сферах господарської діяльності. Важливою особливістю галузі є можливість залучення широкого спектра сировинних ресурсів - від природної мінеральної сировини до промислових і побутових відходів техногенного походження. Сучасна хімічна індустрія фактично формує сировинну базу для більшості галузей матеріального виробництва, включаючи харчову, фармацевтичну, будівельну, машинобудівну та оборонну промисловість. Разом із цим вона належить до наукоємних виробництв, що потребують значних матеріальних, енергетичних і трудових ресурсів та характеризуються підвищеним екологічним навантаженням.

Дипломні проекти та кваліфікаційні роботи у сфері хімічних технологій, як правило, присвячені розрахунку та проектуванню діючих виробництв, удосконаленню існуючих технологічних процесів або дослідженню нових способів одержання хімічної продукції та матеріалів. Одним із найважливіших етапів таких робіт є техніко-економічне обґрунтування, основною метою якого є визначення собівартості одиниці продукції. Розрахунки виконуються відповідно до чинних методичних

рекомендацій [44] та дають змогу оцінити економічну ефективність і доцільність впровадження певного виробництва чи технологічного рішення.

Проведення техніко-економічних розрахунків може бути спрямоване на вирішення таких завдань:

- визначення собівартості продукції та порівняльний аналіз кількох варіантів технологічних схем з метою вибору найбільш економічно вигідного;
- оцінювання собівартості модернізованого процесу для встановлення ефективності запропонованих удосконалень;
- визначення собівартості нового або альтернативно незамінного процесу, який забезпечує отримання продукції з унікальними властивостями.

Крім розрахунку собівартості, економічний розділ дипломних робіт передбачає оцінювання науково-технічного рівня виконаного дослідження. Незважаючи на те, що така оцінка має прогнозний характер і може супроводжуватися певною похибкою, вона є важливим інструментом для визначення потенційної практичної цінності та перспективності отриманих наукових результатів, а також для їхнього порівняння з існуючими розробками.

5.1 Розрахунок собівартості проведення науково-дослідної роботи

Розрахунок собівартості розглянемо на прикладі науково-дослідної роботи (НДР). Для дипломного проекту методика розрахунку залишається аналогічною, проте враховує особливості конкретного виробництва, технологічного процесу та складу необхідного обладнання. Варто зазначити, що визначена собівартість не охоплює окремих додаткових витрат, які можуть виникати в процесі реалізації проекту, зокрема витрат на

транспортування, соціальне забезпечення, логістичне супроводження та інші супутні потреби.

Витрати, що формують собівартість науково-дослідної роботи, групуються за економічним змістом і поділяються на такі основні складові: матеріальні витрати; витрати на оплату праці персоналу; відрахування на соціальне страхування та інші соціальні заходи; амортизаційні відрахування на основні засоби та нематеріальні активи; інші виробничі та господарські витрати.

5.1.1 Розрахунок матеріальних витрат

До складу матеріальних витрат включаються такі компоненти:

- вартість сировини та основних матеріалів;
- вартість придбаних комплектуючих виробів та напівфабрикатів;
- витрати на роботи та послуги виробничого характеру, виконані сторонніми організаціями;
- вартість всіх видів енергії, придбаної та використаної на технологічні потреби організації, пов'язані з виконанням науково-дослідної роботи;
- інші матеріальні витрати.

Кількість необхідних матеріалів встановлюється, виходячи з кількості дослідів, проведених протягом виконання експериментальної частини НДР, і необхідної витрати матеріалів на один експеримент (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Розрахунок витрат на матеріали для виконання НДР

Найменування матеріалу	Одиниці вимірювання	Необхідна кількість матеріалу, V_i	Ціна одиниці матеріалу, C_i , грн/од.	Сума, грн.
Глинозем (алюмінію оксид)	кг	0,3	120	36
Пісок кварцовий Новоселівський	кг	1,0	30	30
Барій вуглекислий	кг	0,5	90	45
Піритові огарки	кг	0,5	76	38

Разом, грн.	149
Перераховано, грн	$B_M = 163,9$

Розрахунок вартості матеріалів здійснюється за формулою:

$$B_M = B_i \cdot C_i \cdot 1,1, \quad (5.1)$$

де B_i – витрата i -го матеріалу на проведення експериментів;

C_i – ціна i -го матеріалу, грн/од.;

1,1 – коефіцієнт, що враховує транспортні витрати.

Після розрахунку калькуляцію наведено у вигляді таблиці (табл. 5.1).

5.1.2 Розрахунок енергетичних витрат

Хімічні виробництва відносяться до енергоємних. Основні витрати енергії пов'язані з процесами подрібнення сировини або з тими, що відбуваються за високих температур (сушіння, плавлення, прожарювання, спікання та ін.). Для забезпечення енергетичних витрат використовуються електроенергія або енергія спалювання природних корисних копалин (газ, вугілля). Наведемо розрахунок енергетичних витрат на прикладі використання електроенергії.

Витрати на електроенергію, пов'язані з проведенням НДР, розраховують за формулою:

$$B_e = P_{уст i} \cdot n_i \cdot t_i \cdot k_n \cdot C_e, \quad (5.2)$$

де $P_{уст i}$ – електрична потужність i -го встаткування, кВт;

n_i – кількість i -го встаткування, од.;

t_i – тривалість роботи i -го устаткування, год.;

k_n – коефіцієнт споживання, який дорівнює 1;

C_e – вартість 1 кВт·год електроенергії, грн/(кВт·год).

Значення електричної потужності, часу роботи обладнання та витрати електроенергії наводять у таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Значення потужності, часу роботи обладнання та вартості використаної електроенергії

Обладнання	Електрична потужність, кВт	Тривалість роботи, год	Використана електроенергія, кВт·год	Вартість використаної електроенергії, грн.
Шафа сушильна СП-50С	1,2	24	28,8	129,6
Муфельна піч СНОЛ 6,7/1300	6,7	10	67	301,5
Разом, грн.	$V_e = 431,1$			

5.1.3 Розрахунок витрат на воду

Витрати на воду для технічних цілей розраховуються за формулою:

$$V_v = V_i \cdot t_i \cdot C_v, \quad (5.3)$$

де V_i – витрата води одиницею обладнання або на операцію, м³/год;

t_i – тривалість роботи обладнання, год;

C_v – вартість 1 м³ води, грн.

Значення електричної потужності, часу роботи обладнання та витрати електроенергії наводять у таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Значення витрат води, тривалості роботи обладнання (операції) та вартості використаної води

Обладнання/ операція	Витрати води, м ³	Тривалість використання, год	Об'єм використаної води, м ³	Вартість використаної води, грн.
Промивання лабораторного посуду	0,05	3	0,15	3,75
Разом, грн.	$V_v = 3,75$			

5.1.4 Розрахунок амортизації основних фондів і нематеріальних активів

Амортизаційні відрахування розраховуються за формулою:

$$A = (Ц_{об.}/12) \cdot m_i, \quad (5.4)$$

A – витрати сировини;

де $Ц_{об.}$ – вартість обладнання, грн;

m_i – тривалість роботи обладнання, місяців (табл. 5.4).

У випадку технологічного обладнання тривалість його використання розраховують згідно прийнятої схеми роботи виробництва (одно- або двозмінна, періодична, безперервна).

У контексті економічного обґрунтування лабораторних досліджень, розрахунок амортизаційних відрахувань для основного обладнання здійснюється, виходячи з річної норми амортизації у розмірі 20% від його балансової вартості. Це означає, що щорічно 20% від початкової вартості обладнання списується як витрати, відображаючи його поступове зношення та втрату вартості протягом терміну служби.

Таблиця 5.4 – Вартість обладнання та амортизаційні відрахування

Обладнання	Вартість обладнання, грн.	Тривалість роботи, міс.	Амортизація, грн.
Шафа сушильна СП-50С	25000	1	416,67
Муфельна піч СНОЛ 6,7/1300	60000	1	1000
Разом, грн.	$A = 1416,67$		

5.1.5 Розрахунок витрат на малоцінні та витратні матеріали

Витрати на малоцінні матеріали, лабораторний посуд, захисний одяг і т. д. приймають у розмірі 8 % від вартості обладнання (табл. 5.4).

5.1.6 Витрати на оплату праці і відрахування на соціальні заходи

Для розрахунку витрат на заробітну плату виконавців науково-дослідної роботи (робітників виробництва, цеху, ділянки) необхідно скласти таблицю (табл. 5.5). Заробітну платню вноситься до таблиці повністю, без відрахувань на податки. Преміальний фонд приймається у розмірі 20 % від окладу. Сума надбавок обирається відповідно до норм організації.

Таблиця 5.5 – Заробітна плата виконавців науково-дослідної роботи

Виконавець	Кількість робітників	Заробітна плата (оклад + премія/надбавки), грн.	Час роботи, міс.	Коефіцієнт участі у роботі	Сума, грн.
Керівник	1	19000	1	0,2	3800
Здобувач	1	2000	1	0,8	1600
Разом, грн.		5400			

5.1.7 Кошторис витрат на проведення науково-дослідної роботи

Кошторис виробництва продукції дозволяє провести аналіз витрат та намітити шляхи скорочення витрат. Слід відмітити, що ряд хімічних виробництв є безальтернативним або їх економічна оцінка поступається соціальної, політичній, екологічній значущості.

Загальна сума витрат на науково-дослідну роботу наведена у таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 – Кошторис витрат на проведення науково-дослідної роботи

№	Статті витрат	Сума, грн.
1	Заробітна плата	5400
2	Преміальний фонд	Включно до з/п
3	Витрати на матеріали	163,9
4	Витрати на електроенергію	431,1
5	Витрати на воду	3,75

6	Амортизаційні відчислення	1416,67
7	Витрати на контрагентські та сторонні роботи	500
8	Накладні витрати	200
Разом, грн		8115,42

Загальні витрати на проведення науково-дослідної роботи ВНР, визначаються за формулою:

$$B_{\text{НР}} = C_{\text{НР}} \cdot 1,2, \quad (5.5)$$

де $C_{\text{НР}}$ – загальна сума витрат на проведення НДР за всіма статтями;

1,2 – коефіцієнт, який враховує планові нагромадження.

$$B_{\text{НР}} = 9738,504 \text{ грн}$$

5.2 Розрахунок економічного ефекту від впровадження науково-дослідної роботи

Економічний ефект науково-дослідної роботи $E_{\text{еф.}}$ визначають за формулою:

$$E_{\text{еф.}} = C_1 \cdot O - (C_2 \cdot O + B_{\text{НР}}), \quad (5.6)$$

де C_1 – собівартість продукції до впровадження, грн/(ум. од.); ум. од. – умовна одиниця випуску продукції (кілограм, тон, м², штук і т. д.);

O – об'єм продукції, що випускається, (ум. од.)/рік;

C_2 – собівартість продукції після впровадження НДР, грн/(ум. од.);

$B_{\text{НР}}$ – витрати на проведення НДР, грн.

Перерахуємо економічний ефект, використовуючи значення для $B_{\text{НР}} = 9738,504$ грн.

C_1 – собівартість продукції до впровадження = 300 грн/кг

O – об'єм продукції, що випускається = 1000 кг/рік

C_2 – собівартість продукції після впровадження НДР = 320 грн/кг

$E_{\text{еф}} = - 29738,504$ грн

За прийнятих умовних параметрів розрахований економічний ефект має від'ємне значення. Такий результат є характерним для інноваційних технологій на початкових етапах їх розроблення та впровадження і не відображає повною мірою переваг якісного характеру, здатних забезпечити суттєвий економічний ефект у довгостроковій перспективі.

5.3 Висновки за розділом 5

За результатами проведених досліджень встановлено, що економічне обґрунтування інноваційних науково-дослідних розробок є важливим інструментом оцінювання їхньої перспективності та потенційної ефективності. Аналіз структури витрат на створення нового склокристалічного матеріалу показав, що найбільшу частку в загальній собівартості на стадії виконання науково-дослідної роботи становлять амортизаційні відрахування, пов'язані з використанням спеціалізованого обладнання, а також витрати на оплату праці наукових співробітників. Водночас витрати на сировинні матеріали, електроенергію та водопостачання мають порівняно незначний вплив на загальний обсяг витрат, що є характерною особливістю лабораторних досліджень.

Оцінювання економічної ефективності умовного впровадження розробленого матеріалу, виконане за чинною методикою, засвідчило отримання від'ємного економічного ефекту. Подібний результат є закономірним для новітніх технологічних розробок на ранніх стадіях життєвого циклу, оскільки значні витрати на проведення науково-дослідних робіт та відсутність масштабного виробництва призводять до підвищеної собівартості інноваційної продукції порівняно з традиційними аналогами. Разом з тим отримані результати не свідчать про низьку практичну цінність

проведеного дослідження, а навпаки підкреслюють необхідність подальшого вдосконалення технології та оптимізації виробничих процесів для підвищення її економічної привабливості.

Особливу увагу слід приділити експлуатаційним перевагам розробленого склокристалічного матеріалу, серед яких підвищена довговічність, висока хімічна стійкість до агресивних середовищ, а також можливість набуття додаткових функціональних характеристик. Саме ці властивості можуть стати визначальними чинниками формування значного економічного та технічного ефекту в процесі тривалої експлуатації матеріалу та його промислового застосування.

ВИСНОВКИ

У рамках даної роботи проведено комплексний теоретичний огляд літературних джерел, присвячених розробці та дослідженню актуальних захисних матеріалів від іонізуючого випромінювання. У результаті проведених досліджень підтверджено можливість синтезу барійвмісних цементів нового покоління з підвищеними вогнетривкими та радіаційно-захисними властивостями. Встановлено, що оптимальними компонентами для формування таких цементів є алюмінати, силікати та ферити барію, які забезпечують поєднання високої механічної міцності, жаростійкості та ефективного поглинання γ -випромінювання.

Рентгенофазним аналізом встановлено, що основними клінкерними мінералами синтезованих цементів є Ba_2SiO_4 , $BaAl_2O_4$ та $Ba_2Fe_2O_5$. Дослідження структури клінкеру методом скануючої електронної мікроскопії показали формування щільної добре спеченої структури з характерною мікропористістю та системою мікротріщин, що забезпечує добру розмелюваність матеріалу.

Отримані склади спеціальних захисних барійвмісних цементів, які швидко тужавіють (початок тужавіння 25 хв., кінець тужавіння 1 год. 10 хв.), з низьким водоцементним співвідношенням (0,16), швидко тверднуть (у віці 1 діб тверднення границя міцності при стиску складає понад 40 МПа), є високоміцним матеріалом (границя міцності при стиску до 28 діб тверднення досягає 70 МПа), з високим коефіцієнтом масового поглинання гамма-променів (до 270 см²/г), що в 2 – 2,5 рази вищий, ніж у кальційвмісних цементів, з температурою служби 1200 – 1600 °С. Встановлено, що навіть після нагрівання до 1200 °С втрата механічної міцності не перевищує 14 %, що значно перевищує показники традиційних захисних цементів.

Підвищена термостійкість матеріалу пояснюється особливостями структури цементного каменю, в якій зв'язана вода має цеолітоподібний

характер і видаляється поступово у широкому температурному інтервалі без різкого руйнування структури.

Таким чином, розроблені барійвмісні захисні цементи є перспективними для створення жаростійких і радіаційно-захисних бетонів та можуть бути рекомендовані для використання в атомній енергетиці для іммобілізації радіоактивних відходів та інших високотемпературних технологіях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. International Atomic Energy Agency. Management of Radioactive Waste. General Safety Requirements No. GSR Part 5. Vienna : IAEA, 2018. 82 p.
2. International Atomic Energy Agency. Predisposal Management of Radioactive Waste. General Safety Requirements No. GSR Part 5 (Rev. 1). Vienna : IAEA, 2024. URL: <https://www.iaea.org/publications> (date of access: 19.06.2026).
3. International Atomic Energy Agency. Cementitious Materials for Waste Immobilization. IAEA Nuclear Energy Series No. NW-T-1.21. Vienna : IAEA, 2013. 108 p.
4. Abdel Rahman R. O., Ojovan M. I. Utilization of Cementitious Materials for Radioactive Waste Immobilization and Disposal. *Journal of Nuclear Materials*. 2021. Vol. 543. P. 152601. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jnucmat.2020.152601> (date of access: 19.06.2026).
5. Kustov M.V., Kalugin V.D., Deineka V.V., Shabanova G.M., Korohodska A.N., Slepuzhnikov E.D., Deyneka D.M. (2020) Radioprotective Cement for Long-Term Storage of Nuclear Waste. *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*, (2), pp. 73-81.
6. Hassan A., Mohamed A. Development of Radiation Shielding Cementitious Materials Using Barium-Rich Aggregates. *Journal of Building Engineering*. 2023. Vol. 68. P. 106072. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.106072> (date of access: 19.06.2026).
7. Про поводження з радіоактивними відходами : Закон України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/255/95-%D0%B2%D1%80> (дата звернення: 19.06.2026).
8. Національна доповідь про стан ядерної та радіаційної безпеки України за 2024 рік. Київ : Державна інспекція ядерного регулювання України, 2025. URL: <https://snriu.gov.ua> (дата звернення: 19.06.2026).

9. Звіт про діяльність у сфері поводження з радіоактивними відходами / Державне агентство України з управління зоною відчуження. Київ, 2025. URL: <https://dazv.gov.ua> (дата звернення: 19.06.2026).
10. El-Khayatt A. M., Akkurt I. Radiation Shielding Properties of Heavyweight Concrete Containing Barium Compounds. *Materials*. 2021. Vol. 14, No. 12. P. 3345–3358. URL: <https://doi.org/10.3390/ma14123345> (date of access: 19.06.2026).
11. Akkurt I., Basyigit C. Gamma-Ray Shielding Properties of Barite-Containing Cement Composites. *Radiation Physics and Chemistry*. 2022. Vol. 193. P. 109961. URL: <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2021.109961> (date of access: 19.06.2026).
12. Korohodska A.M., Shabanova H.M., Logvinkov S.M. Unshaped refractories in the (Mg, Ca, Sr, Ba)O – Al₂O₃ – Cr₂O₃ system / Monograph. – Chisinau (Moldova): LAP LAMBERT Academic Publishing, 2023. – 326 p.
13. Kumar Sh., Barai S.V. Concrete Fracture Models and Applications. Springer-Verlag Berlin, 2011. 262 p.
14. Неметалічні корисні копалини України: підручник / В.А. Михайлов, Г.Ф. Виноградов, М.В. Курило, Л.С. Михайлова, В.В. Шунько, В.І. Шевченко, О.В. Грінченко, О.Л. Гелета, Д.М. Щербак. Видання 2-е, виправлене і доповнене. К.: ВЦ «Київський університет», 2007. – 503 с.
15. Su N., Fang H., Chen Z., Liu F. Reuse of waste catalysts from petrochemical industries for cement substitution. *Cement and Concrete Research*. 2000. Vol. 30 (11). P. 1773–1783
16. Shabanova H.M., Korohodska A.M., Khrystych O.V. Viazhuchi materialy: praktykum [Binding materials: handbook]. Kharkiv: NTU «KhPI» [Kharkiv: NTU 'KhPI']. 2014. 220p.
17. DSTU EN 196-1:2019 (EN 196-1:2016, IDT). Methods of testing cement. Part 1: Determination of strength. [2020-01-01]. 34 p.

18. DSTU B EN 196-3:2015 (EN 196-3:2005+A1:2008, IDT). Methods of cement testing. Part 3: Determination of setting time and and soundness. [2016-07-01]. 18 p.
19. DSTU B EN 196-6:2015 (EN 196-6:2010, IDT). Methods of testing cement. Part 6: Determination of fineness.[2016-07-01]. 24 p.
20. ISO 528:1983. Refractory products. Determination of pyrometric cone equivalent (refractoriness). [1983-12-01]. 7 p.
21. B.L. Henke, E.M. Gullikson, and J.C. Davis. (1993). X-ray interactions: photoabsorption, scattering, transmission, and reflection at E=50-30000 eV, Z=1-92, *Atomic Data and Nuclear Data Tables*, 54 (2), pp. 181-342.
22. Закон України «Про охорону праці». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text>. (Last accessed:15.06.2026).
23. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=65419 (Last accessed: 16.06.2026)
24. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=68456. (Last accessed: 16.06.2026)
25. ГОСТ 12.0.003-74. ССБТ. Небезпечні та шкідливі виробничі фактори. Класифікація. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=48127. (Last accessed: 16.06.2026)
26. ГОСТ 12.1.003-83 Система стандартів безпеки праці. Шум. Загальні вимоги безпеки. Зі зміною № 1. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=48130. (Last accessed: 16.06.2026)
27. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. URL: https://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id_doc=48147. (Last accessed: 16.06.2026) ПОТ Р М-004-97 Міжгалузеві правила по охороні праці при використанні хімічних речовин. URL:

https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=46957. (Last accessed: 16.06.2026)

28. ДСТУ-Н Б А.3.2-1:2007 Система стандартів безпеки праці. Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використанні в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=40230. (Last accessed: 16.06.2025)

29. НПАОП 0.00-1.29-97. Правила захисту від статичної електрики. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=6853. (Last accessed: 16.06.2026)

30. ГОСТ 12.1.018-93 Система стандартів безпеки праці. Пожежовибухобезпека статичної електрики. Загальні вимоги. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=48681. (Last accessed: 16.06.2026)

31. ПОТ Р М-004-97 Міжгалузеві правила по охороні праці при використанні хімічних речовин. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=46957. (Last accessed: 16.06.2026)

32. ДСТУ-Н Б А.3.2-1:2007 Система стандартів безпеки праці. Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використанні в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=40230. (Last accessed: 15.06.2026)

33. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничого приміщення. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=14283. (Last accessed: 16.06.2026)

34. ГОСТ 12.2.003-91 Устаткування виробниче. Загальні вимоги безпеки. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=48105. (Last accessed: 01.06.2026)
35. ДСТУ Б В.2.5-82:2016 Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=65395. (Last accessed: 01.06.2026)
36. ПОТ Р М-004-97 Міжгалузеві правила по охороні праці при використанні хімічних речовин. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=46957. (Last accessed: 01.06.2026)
37. ДСТУ ГОСТ 16519:2008 Вібрація. Визначення параметрів вібраційної характеристики ручних машин і машин з ручним керуванням. Загальні вимоги (ГОСТ 16519-2006 (ИСО 20643:2005), IDT; ISO 20643:2005, NEQ). URL: <https://online.budstandart.com/ua/catalog/searchdoc.html?request=%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3+%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2+12.1.012%3A2008&langbs=ua>. (Last accessed: 16.06.2026)
38. ДСН 3.3.6.039-99. Санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=6372. (Last accessed: 16.06.2026)
39. Правила та пристрої електроустановок. URL: https://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page.html?id_doc=72758. (Last accessed: 16.06.2026)
40. НПАОП 40.1-1.32-01 (ДНАОП 0.00-1.32-01) Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок (укр) URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=47257 (Last accessed: 16.06.2026)
41. ДСП 173-96 Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів. Зі змінами. URL:

https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=46705. (Last accessed: 16.06.2026)

42. Рішення від 13.03.2008 № 30 Про проект Зміни № 1 ДБН В.2.5-28-2006 Природне і штучне освітлення. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=40842 (Last accessed: 16.06.2026)

43. НАПБ А.01.001-2014 Правила пожежної безпеки в Україні. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=60541. (Last accessed: 16.06.2026)

44. Методичні рекомендації до виконання техніко-економічного розрахунку кваліфікаційних проєктів та робіт бакалавра і магістра (для здобувачів першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівнів вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія») / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва імені О. М. Бекетова ; уклад. : О. І. Пилипенко. – Харків : ХНУМГ імені О. М. Бекетова, 2025. – 11 с.

ДОДАТОК А



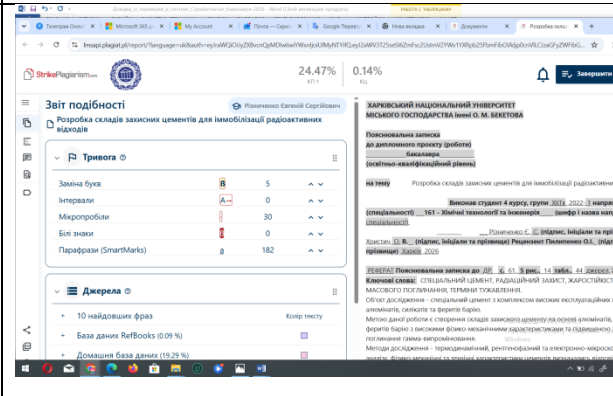
Рисунок А.1 - Сертифікат учасника Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Актуальні питання хімії та інтегрованих технологій в умовах кризових ситуацій»

ДОДАТОК Б

ДОВІДКА

щодо перевірки кваліфікаційної роботи студента
в інформаційній онлайн-системі «StrikePlagiarism»

1. Дані про кваліфікаційну роботу студента

1	П.І.Б. студента	Різниченко Євгеній Сергійович
2	Група, курс, інститут	XIITk 2022-1
3	Спеціальність, освітня програма, форма навчання	161 Хімічні технології та інженерія, Хімічні технології та інженерія, денна
4	Назва роботи	Розробка складів захисних цементів для імобілізації радіоактивних
5	Ідентифікаційний код в системі	334371102
6	Керівник роботи	Христич Олена Валеріївна
7	Дата перевірки	19 червня 2026 р.
8	За результатами перевірки оригінальний текст в роботі складає (%)	75,5 %
9	Копія з екрану	

2. Пояснення щодо відсотку тексту, який не є оригінальним
– елементи правомірних запозичень

Виявлені запозичення	Відмітка про наявність
Регламентовані компоненти оформлення роботи (титульний аркуш, бланк завдання; встановлені назви розділів; назви ЗВО, кафедри тощо)	так
Власні назви установ, організацій; власні імена; назви програмних продуктів; торгові марки обладнання; матеріалів та речовин тощо	так
Загальноприйняті наукові положення, основоположні теоретичні принципи	так
Усталені словосполучення або описи процесів, характерні для сфери знань відповідно до тематики розділів роботи	так
Бібліографічні посилання на джерела	ні
Цитування, оформлене відповідно до вимог, в тому числі раніше опублікованих власних досліджень автора	ні
інше	ні

– елементи неправомірних запозичень, що є академічним плагіатом

Виявлені запозичення	Відмітка про наявність
Цитування, яке не оформлене відповідно до вимог, в тому числі раніше опублікованих власних досліджень автора	ні
Подання колективної роботи як індивідуальної або роботи іншого автора як власних досліджень; використання чужих висновків або аналізу без відповідного цитування	ні
Підміна оригінальних джерел вигаданими; спотворення джерел або даних для підтвердження думки чи гіпотези автора; видалення небажаних результатів із набору даних	ні
Переклад іноземних джерел без посилання	ні
Наявність текстових спотворень для маскуванню цитування без посилання (парафраз, синонімізація, зміна структури тексту при збереженні змісту)	ні
інше	ні

* наявність хоча б одного елементу неправомірних запозичень, що є академічним плагіатом, розглядається як підстава для направлення кваліфікаційної роботи для доопрацювання або відхилення залежно від коефіцієнту оригінальності

Довідку склав
19.06.2026 р.



Скрипинець Анна Василівна

Склад комісії: (з врахуванням недопущення конфлікту інтересів):

Голова комісії:

завідувачка кафедри хімії та інтегрованих технологій Саввова Оксана Вікторівна.

Члени комісії:

доцент кафедри хімії та інтегрованих технологій Скрипинець Анна Василівна,
доцент кафедри хімії та інтегрованих технологій Пилипенко Олексій Іванович;
доцент кафедри хімії та інтегрованих технологій Бабіч Олена Вікторівна;
здобувачка вищої освіти другого (магістерського) рівня Яковлева Поліна Єгорівна.