

«РОЗРОБКА БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ
ВТОРИННИХ РАДІАЦІЙНО БЕЗПЕЧНИХ СИРОВИННИХ РЕСУРСІВ»

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1.1. Аналіз оцінки радіаційної якості вторинної сировинної бази...	4
1.2. Контроль радіаційних показників в вторинній сировині та будівельних конструкціях.....	7
2. Вибір напрямку досліджень.....	10
2.1 Дослідження радіаційних властивостей техногенної сировини...	12
2.1.1 Визначення питомі активності природних радіонуклідів у відходах.....	13
2.1.2. Оцінка радіаційної небезпеки будівельних матеріалів за міжнародними критеріями.....	16
3. Застосування дослідних металургійних шлаків для виготовлення безпечних будівельних матеріалів.....	20
3.1. Отримання будівельної кераміки на основі сталеплавильних шлаків.....	20
3.2. Дослідження властивостей отриманих матеріалів.....	21
3.3. Розрахунок радіаційно-екологічних характеристик та оцінка безпеки за величиною радоновиділення.....	25
ВИСНОВКИ.....	28
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	30

ВСТУП

Науково-технологічний прогрес значною мірою реалізується у всединамічнішому розвитку вторинного ресурсокористування. В сучасному світі чим розвинутішою є країна, тим вищою є в ній частка вторинних джерел в загальному ресурсоспоживанні, тому тема даного дослідження є актуальною.

Аналіз світового досвіду комплексної переробки сировини, рекуперації відходів свідчить про закономірність ресурсозаощадливих тенденцій інтенсивного природокористування. Інтенсивному типові розширеного відтворення виробництва відповідає перехід на повне, повторне і багаторазове використання сировини, яка залучається у господарський обіг. Цим забезпечується відносна стабілізація і наступне скорочення первинного ресурсокористування. Вторинне ресурсокористування, є таким чином, довгостроковою стратегією розвитку всього світового господарства і відповідно окремих країн. Відходи, переходячи в категорію нового елемента виробництва, стають знову його початковою ланкою, тобто його сировинною базою. При цьому особлива увага повинна бути приділена радіаційній безпеці даної вторинної сировини. Знаючи закономірності розподілу природних радіонуклідів і важких металів у структурі вихідних природних і техногенних сировинних компонентів і поведінку в процесі технологічної переробки в будівельні матеріали, можна на стадії проектування оцінити їх зміст в готових виробках і вчасно внести корективи, що б запобігти повторну переробку будівельних матеріалів і захистити здоров'я людей.

Рішення проблеми отримання безпечних будівельних матеріалів із застосуванням природного і техногенного сировини може бути досягнуто шляхом системного підходу, що передбачає реалізацію комплексу заходів, що включають хімічне зв'язування природних радіонуклідів і важких металів у стійкі малорозчинні сполуки або блокування їх в структурі будівельного матеріалу.

Тому розробка екологічно- радіаційно-безпечних будівельних матеріалів з застосуванням вторинних джерел є актуальним напрямком досліджень.

1.1. Аналіз оцінки радіаційної якості техногенної сировини

Будь-яка мінеральна сировина, що використовується у будівництві, містить радіоактивні речовини різної концентрації. Це так звана природна радіоактивність. Вона присутня як в сировині (щебінь, пісок, цемент і ін), так і готової продукції (цегла, керамічна плитка, залізобетонні конструкції, товарний бетон і розчини, штучні камені, облицювальні плити).

Більшість будівельних матеріалів безпосередньо є природними компонентами екосистеми і тому мають свої специфічні радіаційні властивості. Наприклад, всі будівельні матеріали мінерального складу містять в різній кількості хімічні елементи, ізотопи яких радіоактивні. Найбільш небезпечними в цьому відношенні можуть бути будівельні матеріали з природного каменю та матеріали на основі мінеральних в'язучих. Крім того, необхідно знати, що для одного і того ж виду матеріалу показники радіоактивності можуть відрізнятися в залежності від місця розташування родовища, тому можливий деякий розкид даних від середніх фонових значень. Радіаційну активність будівельних матеріалів можна прогнозувати за їх хімічним складом і вмістом у них званих елементів важких металів, ізотопи яких найбільш радіаційно активні [1].

В нових стандартах на технічні умови для будівельних матеріалів [2] одним з параметрів їх екологічної безпеки затверджений показник радіаційної якості. Критерієм для прийняття рішень про можливість використання будівельних матеріалів та виробів служить показник «питомої ефективності активності штучних радіонуклідів». Дуже важливо відмітити, що вимоги радіаційно-екологічної оцінки введено в стандарти і на будівельну сировину.

Рівень фону гамма-випромінювання у середині будівлі залежить в основному від радіоактивності будівельних матеріалів. Еквівалентна доза опромінення від будівельних матеріалів та конструкцій становить 55 – 60% від загального опромінювання. Будівельні матеріали можуть містити такі радіонукліди, як уран – 238, торій – 232 і калій – 40. Уран – 238 за геохімічними властивостями та періодом напіврозпаду поділяється на дві групи: уранову та

радієву (від радію – 226 до свинцю – 206). В свою чергу продуктом розпаду радію – 226 є радон – 222 [3].

У природних умовах збільшену концентрацію радіонуклідів U, Th, і K мають калієві польові шпати, калійні солі, слюда, глауконіт, мінерали глин: бентоніт, каолініт, гідрослюда та ін., а також акцесорні мінерали: циркон, монацит, сфен і ін [3, 4].

Оцінка радіаційної якості шлаку як будівельного матеріалу показує, що сумарна питома ефективна активність природних радіонуклідів C_{ef} в його складі менше 370 Бк/кг [4]. Це дозволяє відповідно до чинних будівельних норм [4, 5] віднести шлак з радіаційного якості до будівельних матеріалів першого класу, які придатні для всіх видів будівництва без обмеження.

Але якщо величина сумарної питомої активності радіонуклідів в матеріалі перевищує 1350 Бк/кг, питання про можливе застосування таких матеріалів вирішують у кожному випадку окремо при узгодженні з органами охорони здоров'я.

Промислове будівництво зі шлакоблочних матеріалів, природна активність яких не контролюється, призвело до забруднення багатьох приміщень радоном. У Великобританії в процесі обстеження населених пунктів знайдено більше 100 тис. будинків (це 0,5% від загальної кількості), в яких випромінювання радону перевищувало 200 Бк/м³. У ФРН у 10% житлових будинків вміст радону перевищує 80 Бк/м³. В Україні цей показник практично не контролюється.

Накопичення великої кількості шлаків, зображено на рисунку 1.1 (гранульованих і відвальних) та близькість їх мінералогічного складу неорганічним будівельним матеріалам викликає необхідність моніторингу шлаковідвалів.



Рис. 1.1 Накопичення шлаків в відвалах та териконах

Однієї з обов'язкових складових частин моніторингу повинен бути контроль радіаційних характеристик відходів, так як металургійні шлаки концентрують природні радіонукліди (ПРН): ^{226}Ra і ^{232}Th (α , γ – випромінювачі) та ^{40}K (β , γ – випромінювач), який не відноситься до радіоактивних рядів. Використання шлаків з підвищеним вмістом ПРН у виробництві шлакобетонів може викликати підвищення інтенсивності γ -випромінювання у приміщеннях.

У трьох радіоактивних сімействах: урану (^{238}U), торію (^{232}Th) і актинія (^{235}Ac) в процесах радіоактивного розпаду постійно утворюється 40 радіоактивних ізотопів. Середня ефективна еквівалентна доза зовнішнього опромінення, яку людина одержує за рік від земних джерел, становить близько 0.35 мЗв, тобто трохи більше середньої індивідуальної дози, обумовленої опроміненням з-за космічного фону на рівні моря [6].

1.2. Контроль радіаційних показників в вторинній сировині та будівельних конструкціях

Згідно чинного законодавства України [7] захист людини від радіонуклідів, що містяться у будівельних матеріалах, забезпечується рядом заходів, у т.ч. радіаційними дослідженнями земельних ділянок під будівництво, веденням виробничого контролю за вмістом радіонуклідів, що містяться у будівельних матеріалах та прийняттям будинків та споруд з урахуванням рівня вмісту в них радону і рівня гамма-випромінювання.

Крім того, введення в експлуатацію об'єктів (споруджених, капітально відремонтованих, реконструйованих) без проведення радіаційного контролю вважається незаконним.

У відповідності з будівельними нормами залежно від концентрації радіонуклідів будівельні матеріали діляться на три класи [5]:

1-й клас. Сумарна питома активність радіонуклідів не перевищує 370 Бк/кг. Ці матеріали використовуються для всіх видів будівництва без обмежень.

2-й клас. Сумарна питома активність радіонуклідів знаходиться в діапазоні від 370 до 740 Бк/кг. Ці матеріали можуть бути використані для дорожнього та промислового будівництва в межах території населених пунктів і зони перспективної забудови.

3-й клас. Сумарна питома активність радіонуклідів не перевищує 700, але нижче 1350 Бк/кг. Ці матеріали можна використовувати в дорожньому будівництві за межами населених пунктів - для основ доріг, дамб та ін У межах населених пунктів їх можна застосувати для будівництва підземних споруд, покритих шаром ґрунту товщиною більше 0,5 м, де виключено тривале перебування людей.

Однією з актуальних проблем радіаційного контролю є забезпечення приладами, що можуть ефективно працювати у пошуковому режимі: мати щонайменший час вимірювання та подавати результати вимірювань у найбільш прийнятний спосіб, приклади таких приладів наведені на рисунку 1.2.

Загальновідомо, що інформація у аналоговому вигляді сприймається та аналізується людиною – оператором більш ефективно ніж у цифровому вигляді.

Саме тому дозиметричні прилади (ДП) [7] із таким представленням інформації не тільки можуть, а і повинні використовуватись при виконанні радіаційного контролю (РК) у пошуковому режимі. Однак, прилади, які б повною мірою задовольняли вимогам РК деяких об'єктів (об'єкти навколишнього середовища, транспортні засоби, металобрухт) в Україні не виробляються.



ДБГ-02М "Ритм – 1М"

МКС-07М "Пошук – М"



СРП-68-01



Рис. 1.2 Пошукові прилади радіаційної розвідки

Такі сучасні ДП, як МКС-07М "Пошук – М", ДБГ-02М "Ритм – 1М" мають прийнятний, досить невеликий час вимірювання у пошуковому режимі (не більше 2,5 с), але цифрова форма представлення інформації при цьому значно ускладнює їх застосування для таких робіт [8].

Разом з тим, в Україні існує досить значний парк дозиметричних приладів типу СРП-68-01 з аналоговим (нецифровим) індикатором, за допомогою яких здійснювали гамма-обстеження територій. Територіальними органами Мінприроди останнім часом використовуються також аналогічні їм прилади Ludlum M19 (США). Прилади типу СРП-68-01 характеризуються високою надійністю, здатністю працювати у широкому діапазоні температур, атмосферного тиску і вологості (навіть при зануренні у воду) [9, 10].

Підприємства та організації, що здійснюють виробництво, постачання будівельних матеріалів та сировини, а також підприємства, відходи яких використовуються для виготовлення будівельних матеріалів або як будівельні

матеріали повинні забезпечити радіаційний контроль згідно розділу 8 «Норм радіаційної безпеки України» (НРБУ-97) [5], основних санітарних правил забезпечення радіаційної безпеки України [7], система норм та правил зниження рівня іонізуючих випромінювань природних радіонуклідів у будівництві [11, 12].

З гігієнічної точки зору, своєчасно проведений радіаційний контроль та усунення чи зниження до нормативного рівня іонізуючого випромінювання збереже не тільки здоров'я, а й високу працездатність, так як знаходження тривалий час у приміщеннях з підвищеним радіаційним фоном чи рівнем радону в повітрі може привести до негативного впливу на стан здоров'я людей.

2. Вибір напрямку досліджень

Накопичення твердих відходів спостерігається на тисячах гектарах родючих площ землі країни, що неминує погіршує її екологічний стан. Паралельно з тим в усіх областях загострюється проблема скорочення природних ресурсів. Найефективнішим і найдоцільнішим рішенням в такій ситуації є розгляд техногенних відходів як ВМР. Однак, незважаючи на чисельні технологічні рішення у поводженні з твердими техногенними відходами їх нагромадження продовжується і сьогодні, оскільки ступінь їх утилізації в нашій країні, як вторинної сировини замалий.

Одним з постійних і найбільш перспективних споживачів відходів залишається будівельна галузь, яка здатна максимально утилізувати деякі види техногенних відходів, зокрема шлаки чорної металургії. Ця техногенна сировина має безліч цінних якостей і при цьому дуже довго пробивало шлях до широкого застосування в будівельній промисловості. При оцінці техногенних відходів, як сировини для виробництва будівельних матеріалів, необхідно враховувати їх відповідність нормам на вміст радіонуклідів.

Концентруючись в процесі технологічної обробки, природні нукліди та важкі метали, що вносяться природними та техногенними компонентами, утворюють сполуки, які в процесі експлуатації можуть перейти з структури

будівельних матеріалів у навколишнє середовище, тим самим створюючи небезпечні для людини концентрації в повітрі.

Однієї з обов'язкових складових частин радіаційного моніторингу є контроль радіаційних характеристик відходів, так як доменні шлаки концентрують природні радіонукліди (ПРН): ^{226}Ra і ^{232}Th (α , γ – випромінювачі) та ^{40}K (β , γ – випромінювач), який не відноситься до радіоактивних рядів.

Екологічна безпека будівельної продукції, виготовленої з використанням шлаку, визначається вмістом в них природних радіонуклідів, що характеризується величиною ефективної питомої активності $C_{\text{еф}}$. Згідно Норм радіаційної безпеки України (НРБУ-97) величина $C_{\text{еф}}$ для шлаку повинна бути нижчою або дорівнювати $370 \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$, та належити до 1 класу радіаційної безпеки [5].

З метою дослідження радіоактивності сировинних матеріалів східних та центральних регіонів України, що можуть бути використовані при виготовленні будівельних матеріалів, є проведення досліджень в таких напрямках:

- експериментально дослідити радіаційні властивості даної техногенної сировини України;
- зробити оцінку екологічної безпеки дослідних матеріалів та визначати клас радіаційної безпеки згідно Норм радіаційної безпеки України (НРБУ-97) ;
- надати рекомендації щодо можливості подальшого використання металургійних шлаків в будівельній галузі;
- опрацювання технології виробництва безпечних будівельних матеріалів на основі шлаків;
- дослідження основних експлуатаційних властивостей розроблених екологічнобезпечних будівельних матеріалів;

- проведення розрахунків радіаційно-екологічних характеристик розроблених радіаційно-безпечних будівельних матеріалів та оцінка їх безпечності за величиною радоновиділення.

2.1 Дослідження радіаційних властивостей техногенної сировини

В даній роботі в якості техногенної сировини були взяті для дослідження різноманітні шлаки чорної металургії. Зовнішній вигляд шлаків представлено на рис. 2.1 Сталеплавильні шлаки – відходи виробництва сталі мартенівським (СШМ) та киснево-конверторним (СШК) способами. Їх особливістю є наявність в складі великої кількості включень металічного заліза – 4,25 і 17,13 мас. % відповідно. Дані шлаки високоосновні. (див. табл. 2.1).



СШК



СШМ

Рис. 2.1 Зовнішній вигляд шлаків

Загальною особливістю всіх дослідних техногенних матеріалів являється високий вміст CaO (див. табл. 2.1.).

Таблиця 2.1

Хімічний склад шлаків

Наймену-	Масова доля компоненту, %
----------	---------------------------

вання шлаку	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	FeO	Fe(мет)	MnO	TiO ₂	P	S
СШК	17,01	0,88	49,31	4,55	3,21	5,11	17,13	2,2	0,1	0,4	0,1
СШМ	19,18	3,66	36,72	11,92	8,12	13,36	4,25	4,25	0,31	0,17	0,57

Аналізуючи дані табл. 2.1, слід зазначити, що хімічний склад шлаків близький до сировинних матеріалів, які використовуються в керамічній технології, оскільки валова частка більшості з них представлена оксидами: SiO₂, CaO, Al₂O₃, MgO та оксидами Fe.

2.1.1 Визначення питомі активності природних радіонуклідів в шлаках

Основними джерелами опромінення людини є природні радіонукліди (ЕР) навколишнього середовища. До цих джерел, в першу чергу, належать будівельні матеріали, радіоактивність яких є головною складовою технологічно зміненого фону.

Доза γ -випромінювання в приміщенні визначається в основному ефективною питомою активністю ЕР у використовуваних будівельних матеріалах. А питома активність, у свою чергу, залежить від виду матеріалу; сировини, що використовується для його виробництва; типу родовища і інших причин. Важливою причиною останнім часом стало застосування в будівельній галузі різних відходів виробництва. Висока питома активність характерна для зол, шлаків, фосфогіпсу, червоного шламу та інших відходів. Результатом є підвищення дози γ -опромінення людей, що знаходяться в кам'яних будівлях.

В даній роботі вимірювання ефективної питомої активності природних радіонуклідів зразків техногенних матеріалів виконувалися за допомогою гамма-спектрометричного аналізу. Гамма-спектрометричний аналіз проводився на сцинтиляційному гамма-спектрометрі СЕГ-001 "АКП-С" з діапазоном енергій гамма-випромінювання, що вимірюється, від 50 до 3000 кЕВ. Спектрометр енергії гамма випромінювання СЕГ-001 "АКП-С" призначений для визначення якісного та кількісного складу гамма-випромінюючих радіонуклідів у продуктах харчування, об'єктах навколишнього середовища,

сільськогосподарської продукції, будівельних матеріалах, радіоактивних відходах. Вид приладу наведено на рис 2.2.



Рис. 2.2 Гамма-спектрометр СЕГ-001 "АКП-С"

Прилад складається: з блоку детектування гамма-випромінювання у складі детектора (діаметром 63 мм) і багатоканального аналізатора імпульсів; пасивний низькофоновий захист детектора (свинець 5см); персональний ІВМ-сумісний комп'ютер з принтером, програмне забезпечення "АКWin"; набір вимірювальних судин. Даний прилад має низку особливостей, а саме: спектрометр дозволяє визначати широкий набір гамма-випромінюючих радіонуклідів; конструкція захисту зручна в експлуатації і транспортуванні; прилад може застосовуватися як для експертних вимірювань, так і для експрес-контролю на НЕ перевищення допустимих рівнів за дуже короткий час - хвилини і секунди.

Спеціалізоване програмне забезпечення, встановлене в ПК, призначене для управління режимами роботи спектрометра, відображення накопиченої інформації, обчислення активності та похибки вимірювання гамма-випромінюючих радіонуклідів в геометріях вимірювання, ведення

електронного журналу результатів вимірювань. У ході вимірювань здійснюється попередній аналіз радіонуклідного складу проби. Обчислення активності здійснюється за результатами ідентифікації присутніх в контрольованій пробі радіонуклідів

Методика виконання аналізу наступна: дослідна проба поміщалася у вимірювальну судину Марінеллі об'ємом 1 л, яка охоплює блок детектування з боків і з торцевої частини, чим досягається 4π-геометрія вимірювання. Час вимірювання активності природних радіонуклідів в середньому складав 2 години. Межа основної погрішності вимірювання активності, що допускається, для геометрії "Марінеллі" (при довірчій вірогідності $P=0,95$) не більше 25%. Для обробки результатів вимірювань використовувалось програмне забезпечення Akwin.

Визначено питомі активності природних радіонуклідів (C_i) і $C_{\text{еф}}$ різних видів доменних шлаків.

$C_{\text{еф}}$ розраховувалися за рівнянням [4] :

$$C_{\text{еф}} = C_{\text{Ra}} + 1,31C_{\text{Th}} + 0,085C_{\text{K}}, \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1} \quad (2.1)$$

Досліджені тверді техногенні матеріали: два види сталеплавильних шлаків – відходи виробництва сталі мартенівським (СШМ) та киснево-конверторним (СШК) способами та глинисті матеріали.

Експериментальна дані за питомими активностями ПРН дослідних матеріалів і величиною $C_{\text{еф}}$ представлені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Результати гамма-спектрометричного аналізу

№	Вид шлаку	$C_{\text{еф}}$, Бк/кг	C_i , Бк/кг (вклад, %)			$Ra_{\text{еф}}$, Бк/кг
			^{40}K	^{232}Th	^{226}Ra	
1	2	3	4	5	6	7
1	СШК	286	1240 (89,4)	113 (8,2)	33,1 (2,4)	290,2

2	СШМ	365	1120 (83,6)	160 (11,9)	59,9 (4,5)	374,9
---	-----	-----	----------------	---------------	---------------	-------

Для досліджених шлаків активність калію-40 для СШК, перевищує максимальне значення; для інших шлаків - нижче мінімальної межі. Активність радію-226 для всіх зразків нижче 95 Бк/кг. Аналогічна ситуація для ^{232}Th - шлаки характеризується достатньо високою активністю по даному радіонукліду.

Згідно з величиною $C_{\text{эф}}$, всі дослідженні зразки СШК відносяться до I класу радіаційної небезпеки будматеріалів, використовуваних в будівництві без обмеження ($C_{\text{эф}} \leq 370$ Бк/кг). Шлаки мають різні радіоактивні характеристики в залежності від місця їх отримання. За літературними даними [1] радіоактивність сталеплавильних шлаків України коливається в межах 223-322 Бк/кг.

2.1.2. Оцінка радіаційної небезпеки будівельних матеріалів за міжнародними критеріями

За міжнародними нормами оцінка радіаційної небезпеки будівельних матеріалів проводиться відповідно до критеріїв [8-12]: еквівалентної активності радію (індекс радіаційної небезпеки) Ra_{eq} (Бк/кг), індексу зовнішньої небезпеки I_{ex} , гамма-індексу I_{γ} , альфа-індексу I_{α} . Розрахункові величини даних індексів для досліджених зразків техногенних ресурсів наведені в таблиці 3.3.

Індекс радіаційної небезпеки використовується для порівняння ефективних активностей будівельних матеріалів, що містять різну кількість радію, торію і калію. Ra_{eq} розраховується за рівнянням [8]:

$$Ra_{\text{eq}} = C_{\text{Ra}} + 1,43 C_{\text{Th}} + 0,077 C_{\text{K}}, \quad (2.2)$$

виходячи з припущення, що 1 Бк/кг ^{226}Ra , 0,7 Бк/кг ^{232}Th або 13 Бк/кг ^{40}K дають таку ж потужність дози γ -випромінювання, що і Ra_{eq} . Величина Ra_{eq} не повинна перевищувати 370 Бк/кг, що відповідає величині дози зовнішнього опромінення 1,5 мЗв/рік [10]. Найбільше значення Ra_{eq} визначено для зразка СШМ (374,9 Бк/кг), що перевищує норматив, наведено на рис. 2.3 та в табл. 3.3.

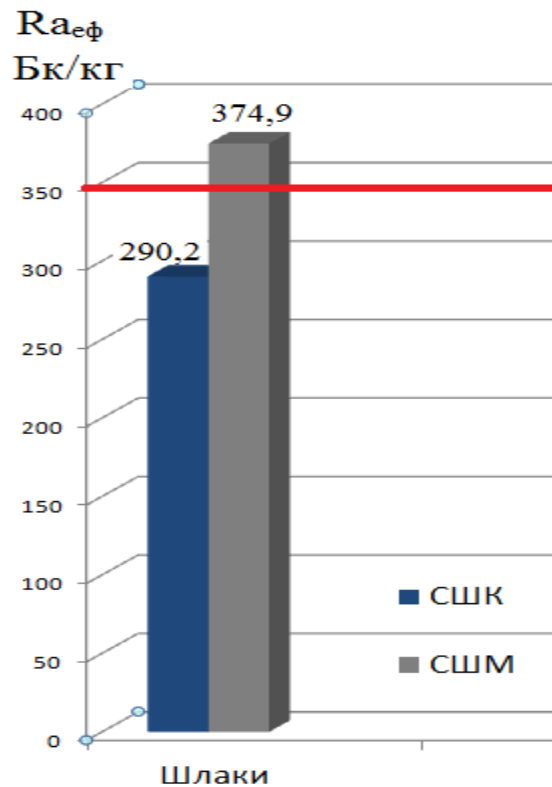


Рис. 2.3 Показники індексу радіаційної небезпеки для дослідних матеріалів

Індекс зовнішньої небезпеки I_{ex} розраховується за рівнянням [8]:

$$I_{ex} = \frac{C_{Ra}}{370} + \frac{C_{Th}}{259} + \frac{C_K}{4810}. \quad (2.3)$$

Цей критерій враховує тільки зовнішнє опромінення за рахунок γ -променів і відповідає максимальній еквівалентній активності радію в будматеріалах 370Бк/кг. Індекс I_{ex} використовується для оцінки рівня γ -радіаційної небезпеки, пов'язаної з присутністю природних радіонуклідів в конкретних будівельних матеріалах. Величина I_{ex} повинна бути не більше одиниці [8]. Розрахункові значення I_{ex} для більшості досліджених зразків знаходяться в діапазоні від 0,47 до 0,94 за винятком зразка СШМ, для якого величина I_{ex} перевищує 1 (табл. 2.3). При величині $I_{ex} < 1$ зразки шлаків є радіаційно-безпечними і можуть

використовуватися в якості будівельного матеріалу без будь-якої значної радіологічної загрози населенню.

Ще одним критерієм, що характеризує γ -випромінювання будівельного матеріалу, є гамма-індекс I_γ , що розраховується за рівнянням [12, 13]:

$$I_\gamma = \frac{C_{Ra}}{300} + \frac{C_{Th}}{200} + \frac{C_K}{3000} \quad (2.4)$$

Гамма-індекс використовують при скринінгу для ідентифікації матеріалів, які могли б представляти інтерес в будівництві. Значення гамма-індексу досліджених матеріалів лежать в інтервалі 0,27-1,37 (табл. 3.3). Для матеріалів, використовуваних у великих обсягах, $I_\gamma \leq 1$ відповідає річній ефективній дозі меншій або рівній 1 мЗв. $I_\gamma \leq 0,5$ відповідає річній ефективній дозі меншій або рівній 0,5 мЗв [13].

Кількісна оцінка ексхалції ізотопів радону з будівельних матеріалів може проводитися за допомогою альфа-індексу I_α , що розраховується за рівнянням [13, 14]:

$$I_\alpha = \frac{C_{Ra}}{200} \quad (2.5)$$

Дане співвідношення виведено, виходячи з того, що при активності ^{226}Ra в будівельному матеріалі вище 200 Бк/кг, концентрація радону, що надходить в повітря приміщення, може бути рівною 200 Бк/м³. $I_\alpha \leq 1$ відповідає активності ^{226}Ra що не перевищує 200 Бк/кг. Різниця значень I_α для досліджених шлаків від 0,04 до 0,3 (табл. 2.3) свідчить про відсутність небезпеки інгаляційного надходження радону з шлаку всередину приміщення. Результати розрахунків приведено в табл. 2.3.

Таким чином, відповідно до величини $C_{\text{еф}}$, рекомендованої НРБУ як головний критерій радіаційної небезпеки будівельних матеріалів, досліджені шлаки можуть використовуватися в будівництві без обмежень. Є деяка настороженість з приводу використання зразка СШМ.

Таблиця 2.3

Розрахунки показників радіаційної небезпеки

№	Вид шлаку	Ra_{eq} , Бк/кг	I_{ex}	I_{γ}	I_{α}
1	2	7	8	9	10
1	СШК	290,2	0,78	1,09	0,17
2	СШМ	374,9	1,01	1,37	0,3

Даний зразок має завищені індекси радіаційної, зовнішньої небезпеки і гамма-індекс, тобто характеризується підвищеним гамма-випромінюванням.

Використання даного шлаку може привести до зростання середньої C_{ef} готової цегли, до збільшення $D_{пом}$ і дози, одержуваної за рахунок γ -випромінювання ПРН будматеріалів ($\Delta DEPH$). Отже, за допомогою радіаційних досліджень було виконано уточнення особливостей гамма-випромінювання зразків шлаків при розрахунку індексів радіаційної, зовнішньої небезпеки і гамма-індексу та показало, що гамма-випромінювання сталеплавильному шлаку (СШМ) перевищує рекомендовані межі і може призвести до опромінення ефективною дозою більшою 1000 мкЗв/рік. Також визначено, що згідно з величиною питомої активності радію-226 і альфа-індексу досліджені шлаки не представляють підвищеної небезпеки еманції радону та дочірніх продуктів його розпаду в повітря приміщення.

3. Застосування дослідних металургійних шлаків для виготовлення безпечних будівельних матеріалів

3.1. Отримання будівельної кераміки на основі сталеплавильних шлаків

Літературний огляд показав, що в керамічній технології шлаки використовуються при виготовленні плиток і цегли. В масах вони виконують роль спіснюючого матеріалу. На стадії термічної обробки шлаки дозволяють проводити випал за прискореним режимом, оскільки не дають ані усадок, ані

розширень (відсутній поліморфізм кварцу) зразків. Наявність склофази і значної кількості силікатів кальцію дозволяє розглядати шлаки як спікаючі добавки, що покращують усі експлуатаційні показники. Вироби набувають поліпшених значень механічної міцності, термостійкості і водопоглинання.

З наведеної інформації можна зробити висновок про те, що металургійні шлаки є перспективною техногенною сировиною для керамічної технології. Сталеплавильні шлаки, а в особливості конверторного і мартенівського способів виробництва, менше використовуються в будівельній промисловості. Вони мають свої недоліки (наявність металічного заліза), проте усереднення їх складу чи видалення заліза магнітною сепарацією дає змогу розглядати ці шлаки як не менш перспективну техногенну сировину, ніж доменні шлаки.

Дослідження властивостей різних шлаків показали, що вони можуть бути використані в технології напівсухого пресування мас. Дослідженнями [15] встановлено, що можливо отримання виробів фасадного призначення, в масах яких вводили 50 % різних шлаків чорної металургії. В якості пластичного компоненту шихт використовувалися тугоплавкі глинисті породи помірної пластичності (глина і аргіліт) з високим вмістом Fe_2O_3 , за своїм хімічним складом придатні для виготовлення керамічної цегли і черепиці. Тому подальші дослідження проводились з урахуванням цих досліджень.

Пластичні матеріали і шлаки подрібнювали до проходження крізь сита № 05 і № 01 відповідно. Зразки отримували напівсухим пресуванням порошку (вологість 10 %) при тиску пресування 10 МПа. Після випалу зразків при температурі 1000 °С вивчалися показники їх водопоглинання і межі міцності при стиску. Так як радіаційні властивості шлаку СШМ перевищують рекомендовані межі і це може призвести до опромінення ефективною дозою більшою 1000 мкЗв/рік, то розробка безпечних будматеріалів виконується тільки з застосуванням шлаку СШК.

3.2. Дослідження властивостей отриманих матеріалів

Для отриманих матеріалів визначали водопоглинання насиченням W_n і

кип'ятінням W_k (%); межу міцності при стиску $\sigma_{ст}$ (МПа); коефіцієнт структурності $K_{стр}$. Середні арифметичні значення властивостей наведені в табл. 3.1. (температура випалу 1000 °С).

Таблиця 3.1

Властивості зразків отриманих при температурі випалу 1000 °С

Серія зразків	Середні значення властивостей зразків					
	$\rho, \text{г/см}^3$	$W_n, \%$	$W_k, \%$	$P_o, \%$	$K_{стр}$	$\sigma_{ст}, \text{МПа}$
СШК	1,99	12,5	14,11	31,2	0,89	17,84

Аномальне зменшення густини шлаку СШК при збільшенні температури випалу, може бути пояснене особливостями спікання матеріалу і інтенсивним перебігом процесів дегазації, що може призводити до збільшення дрібних пор. Це явище проявляється і для показників водопоглинання, високотемпературні показники яких вищі. Загалом же, зі збільшенням температури значення водопоглинання покращуються для всіх матеріалів.

Значення показників водопоглинання кип'ятінням, як того і вимагають фізико-хімічні процеси, вищі від показників насиченням. Тобто, за умов підвищення температури в'язкість води зменшується і вона стає здатною проникати і заповнювати набагато менші пори. Винятком стали показники для шлаків СШК при 1000 °С. Для шлаку СШК це пояснюється його незначним розсипанням у воді, оскільки повноцінного спікання ще не відбулося.

За значеннями коефіцієнта структурності можна припустити що всі керамічні матеріали, одержані при температурі 1000 °С, мають бути морозостійкими і придатними до роботи у кліматичних широтах з низькими температурами.

При великій кількості пор і їх значній величині може спостерігатись наступне: перетворюючись на льод, вода, за низьких температур, збільшується в об'ємі і починає тиснути на внутрішні стінки пор матеріалу, що може призвести до його руйнації. Проте, якщо пори значні за розмірами, то вони являються резервними (безпечними) і льод в таких порах має ніби запас ходу

(люфт), не створюючи небезпеки. Згідно однієї з теорій, яку викладено у роботі [15, 16], безпечні для керамічних виробів або крупні пори (200 мкм і більше), або пори дуже дрібного діаметру – до 0,25 мкм (в них вода не здатна проникнути взагалі). Тому можна припустити, що в отриманих зразках, в яких $K_{стр}$ менше 0,85, можуть утворюватися саме небезпечні пори, які враховуються при розрахунку даного коефіцієнту. Отже, максимальне підвищення температури може бути небажаним.

Аналізуючи межу міцності при стиску встановлено, що за цю характеристику у зразках з комбінацій матеріалів відповідає глина. При надзвичайно малих значеннях $\sigma_{ст}$ для багатьох шлаків (див. табл. 3.1),

Очевидно, що додавання шлаків до глини лише зменшувало їх міцність. Лише порівняно кращі значення мали зразки на основі комбінацій глини із шлаками СШК. За результатами проведеного аналізу можна зробити висновок про те, що максимальне додавання шлаків загалом погіршує всі дослідні характеристики глини. Так, зі збільшенням їх кількості показники властивостей зменшуються.

Більш повна інформація, яку можна отримати при статистичній обробці, надасть змогу оцінити вплив кожного із факторів і встановити оптимальні межі кожного з них у всьому факторному просторі. При цьому слід враховувати такі важливі експлуатаційні показники керамічних матеріалів, як водопоглинання, межа міцності при стиску і коефіцієнт структурності, як непряму величину оцінки морозостійкості [16, 17]. Аналізуючи експериментальні дані можна зробити висновки, що при використанні дослідних шлаків можна отримувати керамічні матеріали, властивості яких відповідають цеглі як рядового, так і фасадного призначення у достатньо широкій області.

Проте, з урахуванням необхідних вимог по енерго- та ресурсозбереженню, слід обирати найбільш оптимальні склади, в яких можна отримувати вироби з високими експлуатаційними характеристиками при максимально можливій утилізації шлаку і мінімальних температурах випалу. В даній роботі ми орієнтувалися на отримання морозостійкої ($K_{стр} \geq 0,85$)

фасадної цегли з такими експлуатаційними показниками: марочність не менше М 200, водопоглинання не вище 12 %, та рядової цегли з марочністю не менше М 100 і водопоглинанням не вище 16 % .

З експериментальних даних для серії СШК виходить, що у комбінаціях глини зі шлаком можна отримувати фасадну керамічну цеглу з марочністю М (200 – 250) в інтервалі температур (1000 – 1025) °С при кількості шлаку (35 – 40) %. Водопоглинання таких матеріалів знаходиться в межах (10 – 12) %, а $K_{стр} \geq 0,85$. При цьому рядову цеглу можна отримувати у досить широкому дослідному факторному просторі, який обмежений кількістю шлаку (10 – 35) % і температурами (1070 – 1100) °С.

Слід відзначити, що фактор температури в отриманих залежностях по $\sigma_{ст}$ і W, % для СШК менш значимий. Тому підвищення температури не буде суттєво покращувати ці властивості керамічних виробів.

За зовнішнім виглядом зразків можна сказати, що з чистих шлаків серій СШК керамічні матеріали мали світлі тона. Сама глина є червоно-коричневою, оскільки має у складі оксиди заліза. Додавання у маси 50 % шлаку наближує колір зразків до кольору чистих шлаків.

Узагальнюючи експериментальні дані в роботі ми звузились до конкретних складів керамічних мас, які представлені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Технологічні параметри отримання керамічної цегли та їх експлуатаційні властивості

Вид шлаку	Тип цегли	Технологічні параметри		Експлуатаційні властивості		
		Температура випалу, °С	Кількість шлаку, мас. %	Марочність, М	Водопоглинання, %	$K_{стр}$
СШК	Фасадна	1000	35	250	11	0,9

Таким чином, обрано склади мас, з яких можна отримати вироби, які відповідають заданим вимогам для фасадних і рядових виробів. Очевидно, що

найбільша утилізація при найкращих показниках властивостей будуть спостерігатися для фасадної цегли, отриманої на основі шлаків СШК. Матеріали на основі цих шлаків також відповідають вимогам енергозбереження – температура випалу 1000 оС.

Найбільш перспективними в технології рядової цегли є також шлак СШК. При цьому слід відзначити шлак СШК, за умови використання якого марочність цегли може сягати М 150 при максимальному їх вмісті. За необхідності отримання виробів більшої марочності і меншого водопоглинання варто зменшувати кількість шлаку у масах та/або підвищувати температуру випалу.

В цілому використання всіх розглянутих шлаків чорної металургії в технології будівельної кераміки являється перспективним. Їх утилізація дозволяє не тільки економити якісні природні матеріали, але і отримувати вироби з високими експлуатаційними характеристиками при дотриманні умов енерго- та ресурсозбереження.

3.3. Розрахунок радіаційно-екологічних характеристик та оцінка безпеки за величиною радоновиділення

Найважливішими компонентами природного опромінення людини є, по-перше, опромінення в приміщенні від будівельних матеріалів, виготовлених з природної сировини, що містить в своєму складі природні радіонукліди (ПР) ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K [1, 18]; по-друге, радіоактивний газ радон, що утворюється при розпаді ^{226}Ra і ^{232}Th і надходить у повітря приміщень зі стін і ґрунту під будівлею.

Сумарно ці джерела вносять до 70% в загальну дозу опромінення населення [19]. Так як багато відходи виробництва концентрують природні радіонукліди, можуть зрости дози опромінення людей, що знаходяться в кам'яних приміщеннях.

Проведено дослідження радіаційних властивостей зразків будівельних матеріалів, результати яких наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Результати гамма-спектрометричного аналізу матеріалів

№	Матеріал	Сума питомих активностей, Бк·кг ⁻¹	Сеф ⁽¹⁾ / Сеф ⁽²⁾ , Бк·кг ⁻¹
1	Глина	359	98,3
2	Вода	3,25	3,25
3	Шлак	159	167,1
4	Висушена цегла	53,7	11,3
5	Цегла після випалу	632	153

Всі досліджувані матеріали, для їх подальшого використання повинні відноситися до I класу радіаційної небезпеки будматеріалів, використовуваних в будівництві без обмежень. Для цього виконується наступні розрахунки відповідних показників радіаційної безпеки.

1. Величину річної ефективної еквівалентної дози γ -випромінювання в кам'яному приміщенні $D_{\text{пом}}$ розраховували за формулою (3.1):

$$D_{\text{пом.}} = 4,74 \bar{C}_{\text{эф.}}, \text{ мкЗв} \cdot \text{год}^{-1}, \quad (3.1)$$

Для цього розраховуємо $\bar{C}_{\text{эф.}}$ з урахуванням масових вкладів його складових шлаку та глини та формулою (3.2):

$$\bar{C}_{\text{эф.}} = \frac{\sum (C_{\text{эф.}})_i \cdot m_i}{\sum m_i}, \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1}. \quad (3.2)$$

Де, m_i – масова доля компонента;

$$\bar{C}_{\text{эф.}} = (98,3 \cdot 0,25 + 3,25 \cdot 0,5 + 167,1 \cdot 0,25) / 1 = 68 \text{ Бк/кг};$$

Тоді $D_{\text{пом}} = 4,74 * 68 = 322,2 \text{ мкЗв/год};$

Величину дози, отриманої за рахунок γ -випромінювання природних радіонуклідів будматеріалів, $\Delta D_{\text{пр}}$ по різниці за формулою (3.3):

$$\Delta D_{\text{ПР}} = D_{\text{пом}} - 305, \text{ мкЗв/год} \quad (3.3)$$

$$\Delta D_{\text{ПР}} = 322 - 305 = 17,2 \text{ мкЗв/год}$$

Доза гамма-випромінювання для цегельних приміщень наближається до середньої еквівалентній дозі γ -випромінювання будівельних матеріалів в розвинених країнах (350 мкЗв/год) [3].

2. Середню річну легеневу дозу опромінення людини за рахунок радону ($D_{\text{ЛЕГ}}$) для невентильованої приміщення розраховували за формулою 3.4 :

$$D_{\text{ЛЕГ}} = 5 \cdot 10^4 * C_{\text{Rn}} = 1351,35 * C_{\text{Rnmax}}, \text{ мкЗв/год} \quad (3.4)$$

Для цього розраховуємо максимальну концентрацію ^{222}Rn в порах зразків матеріалів C_{Rnmax} за формулою 3.5:

$$C_{\text{Rnmax}} = \frac{C_{\text{Ra}} \cdot \rho \cdot \eta}{P}, \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}, \quad (3.5)$$

Де, ρ – густина матеріалу 0,00199 кг/м³

η – коефіцієнт еманування для цегли 3,5

P – пористість матеріалу 31,2 %

$$C_{\text{Rnmax}} = (44 \cdot 0,00199 \cdot 3,5) / 0,312 = 0,98 \text{ Бк/м}^3$$

Звідси можемо розрахувати Концентрацію радону в повітрі приміщення C_{Rn} , яка становить $C_{\text{Rn}} = 0,01 C_{\text{Rnmax}}$:

$$C_{\text{Rn}} = 0,01 * 0,98 = 0,0098 \text{ Бк/м}^3$$

Величина C_{Rnmax} визначає значення об'ємної активності радону в повітрі приміщень C_{Rn} . Остання, в свою чергу, залежить від швидкості повітрообміну.

Концентрація радону в повітрі приміщення C_{Rn} становить $0,01 \cdot C_{Rnmax}$, що пов'язано зі склом-ефектом і присутністю відходів в будматеріалах, головним чином, у вигляді добавок. Причиною є зміна здатності матеріалу до емануванню радону при термічній обробці матеріалу. Сплавлення частинок і закупорювання пор призводить до зниження коефіцієнта еманування з 3,5% для висушеної цегли проти 0,4 % для обпаленої. Незначне підвищення пористості не може компенсувати даний ефект. Якщо пор і стає більше, то вони в основному замкнуті, що перешкоджає виходу радону, це підтверджують експериментальні дані по визначенню об'ємної активності радону. Виходячи з них, рівноважна концентрація радону в повітрі, що контактує зі будматеріалом, дорівнює 17 Бк/м³ для обох зразків цегли. Це значення нижче гранично допустимої концентрації по радону 100 Бк/м³.

Розраховуємо середню річну легеневу дозу опромінення людини за рахунок радону ($D_{ЛЕГ}$) :

$$D_{ЛЕГ} = 1351,35 \cdot 0,0098 = 13,24 \text{ , мкЗв/год}$$

Досліджені матеріали можуть бути рекомендовані як наповнювачі в будівельні матеріали, які використовуються для спорудження житлових будинків, тому що не перевищено середнє значення $D_{ЛЕГ}$ по СНД (50 мкЗв/год [5, 20]) для приміщень з звичайним повітрообміном.

ВИСНОВКИ

1. Аналіз накопичення великої кількості металургійних шлаків та близькість їх мінералогічного складу неорганічним будівельним матеріалам викликає необхідність моніторингу шлаковідвалів, оскільки вони містять такі природні радіонукліди як радій, торій і калій, які негативно впливають на організм людини при перевищенні норм радіаційної безпеки.

2. Так як, більше ніж 75% часу людина проводить у тих чи інших приміщеннях, які побудовані з будівельних матеріалів з певним вмістом природних радіонуклідів які на протязі тривалого часу негативно впливають на мешканців будівель, тому необхідне своєчасне проведення радіаційного контролю та усунення чи зниження до нормативного рівня іонізуючого випромінювання.

3. Так як будівельна галузь є однією з найбільш розвинутих галузей промисловості України, вона потребує глибокого і детального контролю за показниками якості, безпеки та екологічності, при використанні будівельних матеріалів а також сировини та відходи яких використовуються для виготовлення будівельних матеріалів згідно розділу 8 «Норм радіаційної безпеки України» (НРБУ-97), та чинного законодавства України «Про захист людини від впливу іонізуючого випромінювання».

4. У зв'язку з тим, що екологічна безпека будівельної продукції, що виготовлена з використанням шлаку, визначається вмістом в них природних радіонуклідів, тому були досліджені радіаційні властивості сталеплавильних шлаків – відходи виробництва сталі мартенівським (СШМ) та киснево-конверторним (СШК) способами, а також глинисті матеріали, так як вони мають здатність адсорбувати з оточуючого середовища радіоактивні елементи та ізотопи, що підвищує їх радіоактивність.

5. За допомогою гамма-спектрометричного аналізу було проведено вмірювання активності ПРН зразків шлаку та глини та визначено питомі активності природних радіонуклідів (Сi) і $C_{\text{еф}}$.

6 Аналіз експериментальних даних показав, що активність радію-226 для всіх зразків нижче 95 Бк/кг. Аналогічна ситуація для ^{232}Th - більшість зразків характеризується активністю по даному радіонукліді.

7. Згідно з величиною питомою активності природних радіонуклідів ($C_{\text{эф}}$) досліджені зразки шлаку СШК та зразків глини 1 відносяться до I класу радіаційної небезпеки будматеріалів, використовуваних в будівництві без обмеження ($C_{\text{эф}} \leq 370$ Бк/кг).

8. За допомогою радіаційних досліджень було виконано уточнення особливостей гамма-випромінювання зразків шлаків при розрахунку індексів радіаційної, зовнішньої небезпеки і гамма-індексу та показало, що гамма-випромінювання сталеплавильному шлаку (СШМ) перевищує рекомендовані межі і може призвести до опромінення ефективною дозою більшою 1000 мкЗв/рік. Також визначено, що згідно з величиною питомої активності радію-226 і альфа-індексу досліджені шлаки не представляють підвищеної небезпеки еманції радону та дочірніх продуктів його розпаду в повітря приміщення.

9. Оцінка радіаційної небезпеки будівельних матеріалів, що проводилась за міжнародними нормами, показала, що досліджені зразки можуть використовуватися в будівництві без обмежень, окрім СШМ та глини 2.

З експериментальних даних для серії СШК виходить, що у комбінаціях глини зі сталеплавильним шлаком можна отримувати фасадну керамічну цеглу з марочністю М (200 – 250) при температурі 1000 °С при кількості шлаку (35 – 40) %. Водопоглинання таких матеріалів знаходиться в межах (10 – 12) %, а $K_{\text{стр}} \geq 0,85$. Дані властивості відповідають цеглі фасадного призначення у достатньо широкій області.

9. Розрахунок радіаційно-екологічних характеристик цегли та показники радоновиділення задовольняють радіаційним нормам СНД.

10. Аналізуючи експериментальні дані можна зробити висновки, що при використанні дослідних шлаків можна отримувати радіаційно-безпечні будівельні матеріали, властивості яких відповідають параметрам екологічної та радіаційної безпеки.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

1. Смирнов В.П. Радиационный фон естественных радионуклидов строительных материалов. Строительные материалы / Смирнов В.П., Игнатов С.М., Уруцкоев Л.И., Чесноков А.В. - 1999. - 17 с.
2. Запрудин В. Ф. Радиационная безопасность зданий с учетом инновационных направлений в строительстве / Запрудин В. Ф., Беликов А. С., Гупало О. С., Пилипенко А. В., Савицкий Н. В. - Д.: Баланс-Клуб, 2009.- 352с.
3. Волинко О. В. Вимірювання характеристик природного гамма-фону. Робота фізичного практикуму / Волинко О. В., - 2005. – 14 с.
4. Матеріали і вироби будівельні. Визначення питомої ефективної активності природних радіонуклідів. – ГОСТ 30108-94. – [Чинний від 1995-01-01.] - М.: МНТКС, 1994. - 32 с.
5. Нормы радиационной безопасности Украины. – К., 2001. – 159 с.
6. Перцов Л.А. Ионизирующие излучения биосферы. / Перцов Л.А. – М.: 1998. – 256 с.
7. Основні санітарні правила роботи з радіоактивними речовинами та іншими джерелами іонізуючого випромінювання: ДНАОП 0.03-1.72-87. – [Чинний від 1987-04-11]. – М: Госстандарт ССРСР, 1987. – 71 с.
8. Закон України “Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку” від 08.02.1995 № 39/95-ВР.
9. Крисюк Э.М. Радиационный фон помещений / Крисюк Э.М. Титов В.К., Лучин И.А., Лашков Б.П. - М.: Энергоатомиздат, 1989. – 120 с.
10. Основні санітарні правила роботи з радіоактивними речовинами та іншими джерелами іонізуючих випромінювань: ОСП-72/87. – [Чинний від 2003-01-05]. – Львів., - 2003 – 86 с.
11. Зубик С.В. Техноекологія. Джерела забруднення і захист навколишнього середовища: Навч. посібник / Зубик С.В. – Львів: Оріяна-Нова, 2007 – 17 с.
12. Арбузов, С.И. Геохимия радиоактивных элементов: учебное пособие / С.И. Арбузов, Л.П. Рихванов. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 300 с.

13. Строительные нормы и правила: СНП-12/25. – [Чинний від 1991-17-02]. – Днепропетровск., 1991 – 54 с.
14. Строительные нормы и правила: СНП-12/25. – [Чинний від 1991-17-02]. – Днепропетровск., 1991 – 54 с.
15. Лисачук Г.В. Технологические аспекты получения лицевой керамики с высокой степенью утилизации золы-уноса / Лисачук Г.В., Щукина Л.П., Трушкова А.В., Цовма В.В. Херсон. – 2010. – 4 с.
16. Федоренко О.Ю. Технологія виготовлення клінкерних керамічних виробів на основі відходів вуглевидобування. Экология и промышленность / Федоренко О.Ю. – 2009. – 46 с.
17. Відходи промисловості для будівельних виробів. Терміни та визначення.: ДСТУ Б А.1.1-26-94. – [Чинний від 1994-27-09]. – К: Держстандарт України, 1994. – II, 116 с. – (Національний стандарт України).
18. Хоботова, Э.Б. Радиационно-химическая оценка металлургических шлаков как сырья для строительной индустрии / Э.Б. Хоботова, М.И. Уханёва, И.В. Грайворонская, А.В. Соколова, Е.Н. Соколова-Роша. – 2009. –365 с.
19. Арбузов, С.И. Геохимия радиоактивных элементов: учебное пособие / С.И. Арбузов, Л.П. Рихванов. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 300 с.
20. Ибрагимов, Ш.З. Ядерная геофизика: пособие для самостоятельного изучения лекционного курса слушателей курсов повышения квалификации специальности «Геофизика» / Ш.З. Ибрагимов. – Казань: Казанский государственный университет, 2008. – 90 с.