

В. В. ДАЦЕНКО, О. М. ШУЛИЧЕНКО, Е. Б. ХОБОТОВА

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ РЕСУРСНОЇ ЦІННОСТІ ВІДВАЛЬНИХ ДОМЕННИХ ШЛАКІВ

Вивчення властивостей доменних шлаків вимагає комплексного підходу, що включає різні методи дослідження. Мета роботи – обґрунтувати ресурсну цінність відвального доменного шлаку «Запоріжсталь». Використано методи дослідження: рентгенофазовий, петрографічний, гамма-спектрометричний аналіз і електронно-зондовий мікроаналіз. Шлак розсіяний на фракції, так як мінерали шлаків мають різну твердість. В роботі досліджено фракції, мм: >20, 2,5–5, <0,63. Рентгенофазовий аналіз дозволив виявити в кристалічній частині доменного шлаку мінерали, цінні у технічному відношенні при виробництві в'язучих матеріалів: $3\text{CaO}\cdot 2\text{SiO}_2$, SiO_2 , $2\text{CaO}\cdot \text{Al}_2\text{O}_3\cdot \text{SiO}_2$, $\alpha\text{-CaO}\cdot \text{SiO}_2$, $2\text{CaO}\cdot \text{MgO}\cdot 2\text{SiO}_2$, $\alpha\text{-CaO}\cdot \text{SiO}_2$. Мінерали окерманіт, бредигіт, псевдоластоніт мають гідралічну активність. Показано, що масова частка аморфного компонента становить половину маси доменного шлаку. Високий вміст речовин в аморфному стані підтверджує можливість сорбції сторонніх іонів і сполук. Виявлені елементи Калій, Натрій, Сульфур, Хлор, Купрум і Титан, що не входять до складу мінералів. Шлак містить менше 1 % сумарної кількості Fe, Ti і Cu, що відносяться до 3 класу небезпеки речовин. Максимальний вміст Калію, Натрію і Титану характерний для фракції 2,5–5 мм. Найбільш основною є фракція <0,63 мм (рН 9,7), для фракції 2,5–5 мм рН 9,1, найбільш кисла фракція >20 (рН 8,2). За показниками індексу токсичності (4,3–5,4) і III класу небезпеки відвальний доменний шлак «Запоріжсталь» як помірно небезпечний відхід, може використовуватися у якості вторинної сировини в будівельній галузі. Поповнено базу даних за вмістом природних радіонуклідів у техногенній сировині. Доведено, що шлак і його окремі фракції вміщують природні радіонукліди ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th . Основний внесок до значення $C_{\text{эф}}$ вносить радіонуклід ^{226}Ra , потім – ^{232}Th . Перевищення питомої активності виражено для фракції 2,5–5 мм. Визначено I клас радіаційної небезпеки, що дозволяє без обмежене застосування шлаку у будівництві. Відвальний доменний шлак «Запоріжсталь» за сукупністю хімічних показників можна рекомендувати у виробництві неорганічних в'язучих речовин.

Ключові слова: шлак; мінерали; елементний склад; аморфна фаза; радіонукліди; клас небезпеки.

В. В. ДАЦЕНКО, Е. Н. ШУЛИЧЕНКО, Э. Б. ХОБОТОВА

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕСУРСНОЙ ЦЕННОСТИ ОТВАЛЬНЫХ ДОМЕННЫХ ШЛАКОВ

Изучение свойств доменных шлаков требует комплексного подхода, включающего различные методы исследования. Цель работы – обосновать ресурсную ценность отвального доменного шлака «Запорожсталь». Использованы методы исследования: рентгенофазовый, петрографический, гамма-спектрометрический анализ и электронно-зондовый микроанализ. Шлак рассеян на фракции, так как минералы шлаков имеют разную твердость. В работе исследованы фракции, мм: >20, 2,5–5, <0,63. Рентгенофазовый анализ позволил выявить в кристаллической части доменного шлака минералы, ценные в техническом отношении при производстве вяжущих материалов: $3\text{CaO}\cdot 2\text{SiO}_2$, SiO_2 , $2\text{CaO}\cdot \text{Al}_2\text{O}_3\cdot \text{SiO}_2$, $\alpha\text{-CaO}\cdot \text{SiO}_2$, $2\text{CaO}\cdot \text{MgO}\cdot 2\text{SiO}_2$, $\alpha\text{-CaO}\cdot \text{SiO}_2$. Минералы окерманит, бредигит, псевдоластонит обладают гидравлической активностью. Показано, что массовая доля аморфного компонента составляет половину массы доменного шлака. Высокое содержание веществ в аморфном состоянии подтверждает возможность сорбции посторонних ионов и соединений. Обнаруженные элементы Калий, Натрий, Сульфур, Хлор, Купрум и Титан, не входят в состав минералов. Шлак содержит менее 1 % суммарного количества Fe, Ti и Cu, относящихся к 3 классу опасности веществ. Максимальное содержание Калия, Натрия и Титана характерно для фракции 2,5–5 мм. Наиболее основной является фракция <0,63 мм (рН 9,7), для фракции 2,5–5 мм рН 9,1, наиболее кислая фракция >20 (рН 8,2). По величине индекса токсичности (4,3–5,4) и III класса опасности отвальный доменный шлак «Запорожсталь» как умеренно опасный отход может использоваться в качестве вторичного сырья в строительной отрасли. Пополнена база данных по содержанию природных радионуклидов в техногенном сырье. Доказано, что шлак и его отдельные фракции содержат естественные радионуклиды ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th . Основной вклад в значение $C_{\text{эф}}$ вносит радионуклид ^{226}Ra , затем – ^{232}Th . Превышение удельной активности выражено для фракции 2,5–5 мм. Определен I класс радиационной опасности, что разрешает применение шлака в строительстве без ограничений. Отвальнй доменнй шлак «Запорожсталь» по совокупности химических показателей можно рекомендовать в производстве неорганических вяжущих веществ.

Ключевые слова: шлак; минералы; элементный состав; аморфная фаза; радионуклиды; класс опасности.

V. V. DATSENKO, O. M. SHULICHENKO, E. B. KHOBOTOVA

EXPERIMENTAL METHODS FOR STUDYING THE RESOURCE VALUE OF DUMP BLAST FURNACE SLAGS

The study of the properties of blast-furnace slags requires an integrated approach, including various research methods. The purpose of the work is to substantiate the resource value of the Zaporizhstal dump blast furnace slag. The research methods were used: X-ray phase, petrographic, gamma-spectrometric analysis and electron probe microanalysis. The slag is dispersed into fractions, since the slag minerals have different hardness. Fractions

© В. В. Даценко, О. М. Шуличенко, Е. Б. Хоботова, 2021

(mm) were investigated in the work: >20, 2.5–5, <0.63. X-ray phase analysis made it possible to reveal in the crystalline part of blast-furnace slag minerals that are technically valuable in the production of binders: $3\text{CaO}\cdot 2\text{SiO}_2$, SiO_2 , $2\text{CaO}\cdot \text{Al}_2\text{O}_3\cdot \text{SiO}_2$, $\alpha\text{-}2\text{CaO}\cdot \text{SiO}_2$, $2\text{CaO}\cdot \text{MgO}\cdot 2\text{SiO}_2$, $\alpha\text{-CaO}\cdot \text{SiO}_2$. Minerals akermanite, bredigite, pseudo-wollastonite have hydraulic activity. It is shown that the mass fraction of the amorphous component is half the mass of the blast furnace slag. The high content of substances in the amorphous state confirms the possibility of sorption of extraneous ions and compounds. The found elements Potassium, Sodium, Sulfur, Chlorine, Cuprum and Titanium are not part of the minerals. Slag contains less than 1% of the total amount of Fe, Ti and Cu, belonging to the 3rd class of hazardous substances. The maximum content of Potassium, Sodium and Titanium is typical for the fraction 2.5–5 mm. The most basic is the fraction <0.63 mm (pH 9.7), for the 2.5–5 mm fraction pH 9.1, the most acidic fraction >20 (pH 8.2). By the value of the toxicity index (4.3–5.4) and the III hazard class, dump blast furnace slag «Zaporizhstal» as a moderately hazardous waste can be used as a secondary raw material in the construction industry. The database on the content of natural radionuclides in technogenic raw materials has been updated. It has been proven that slag and its individual fractions contain natural radionuclides ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th . The main contribution to the value of C_{ef} is made by the ^{226}Ra radionuclide, then by ^{232}Th . The excess of specific activity is expressed for the 2.5–5 mm fraction. The I class of radiation hazard is defined, which allows the use of slag in construction without restrictions. Dump blast furnace slag «Zaporizhstal» can be recommended in the production of inorganic binders « by the totality of chemical indicators.

Key words: slag; minerals; elemental composition; amorphous phase; radionuclides; hazard class.

Вступ. Для визначення напрямку використання шлаків як промислових відходів необхідно вивчити їх хімічний склад і технічно корисні властивості. Розсіювання шлаків на фракції часто використовується як технологічний прийом, при цьому необхідно враховувати, що мінеральний склад фракцій може відрізнятися, так як мінерали шлаків мають різну твердість [1]. Окремі мінерали можуть впливати на фізико-хімічні, міцність і інші характеристики виробів, виготовлених на основі шлаків [2, 3]. Показано вплив співвідношення CaO/SiO_2 , вмісту Al_2O_3 і TiO_2 в складі шлаку на процес гідратації [3]. Автори роботи [4] досліджували хімічний склад шлаків за допомогою рентгеноструктурного аналізу і скануючої електронної мікроскопії. Запропоновано методику [5] визначення ресурсної цінності промислових відходів з метою їх утилізації в якості технічних матеріалів, що оптимізує послідовність досліджень, підвищує їх ефективність і повноту щодо виявлення необхідних властивостей відходів. Вибір методів дослідження засновано на необхідності визначення природи мінералів; хімічних елементів, їх оксидів і радіонуклідів у складі відходів

виробництва; поверхневої структури і активності відходів у реакціях гідролізу і гідратації та в якості сорбентів. Використано методи аналізу рентгенофазового, гама-спектрометричного, петрографічного та електронно-зондовий мікроаналізу.

Мета роботи – на основі вибраних експериментальних методів обґрунтувати ресурсну цінність відвального доменного шлаку ПАТ «Запоріжсталь».

Проби шлаку відбирали відповідно до рекомендацій [6]. Гранулометричні фракції виділяли за допомогою набору сит. В роботі досліджено фракції, мм: > 20, 2,5–5, < 0,63.

Мінеральний склад шлаку визначено за допомогою рентгенофазового аналізу [7]. Використано дифрактометр Siemens D500, додаткові умови: мідне випромінювання, графітовий монохроматор, інтервал кутів $5^\circ < 2\theta < (110\text{-}120^\circ)$. Ідентифікацію фаз виконано за базою даних [8], після чого проведено розрахунок рентгенограм за методом Рітвельда за програмою FullProf [9]. Даним методом визначено мінерали, що знаходяться в кристалічному стані. Дифрактограми фракцій шлаку наведено на рисунку 1.

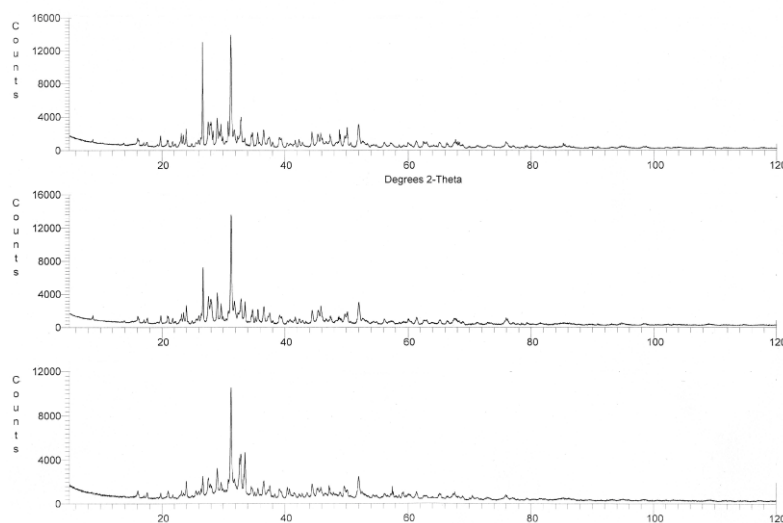


Рисунок 1 – Дифрактограми фракцій відвального доменного шлаку «Запоріжсталь», зверху вниз з розмірами частинок, мм: <math>< 0,63</math>; $2,5\text{-}5$; > 20

Петрографічним аналізом досліджено кристалічні та аморфні складові шлаку. Петрографічний аналіз проводили у світлі в імерсійних препаратах і прозорих шліфах на мікроскопах МІН-8 і Nu-2Е.

Результати рентгенофазового аналізу. Знайдено 6 фаз: ранкініт $\text{Ca}_3\text{Si}_2\text{O}_7$ ($3\text{CaO}\cdot 2\text{SiO}_2$), кварц SiO_2 , геленіт $\text{Ca}_2\text{Al}(\text{Al},\text{Si})_2\text{O}_7$ ($2\text{CaO}\cdot \text{Al}_2\text{O}_3\cdot \text{SiO}_2$), бредігіт $\text{Ca}_{14}\text{Mg}_2(\text{SiO}_4)_8$ ($\alpha\text{-}2\text{CaO}\cdot \text{SiO}_2$), окерманіт $\text{Ca}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7$ ($2\text{CaO}\cdot \text{MgO}\cdot 2\text{SiO}_2$), псевдоволостоніт CaSiO_3 ($\alpha\text{-}\text{CaO}\cdot \text{SiO}_2$). Масова частка мінералів (%) змінюється за фракціями, мм: < 0,63, 2,5–5, > 20 для ранкініту – 36, 28 і 14; для окерманіту – 7, 5, 3; для геленіту – 32, 34, 41; для бредігіту 5, 9, 27, для псевдоволостоніту – 14, 20, 11.

Результати петрографічного дослідження. Досліджено дві фракції < 0,63 мм і > 20 мм. У шлаковому склі можуть спостерігатися кристали, які стають зародками кристалів мінералів шлаку.

Проба фракції > 20 мм переважно з кристалічних фаз: псевдоволостоніт, меліліти, піроксени, $\beta\text{-}2\text{CaO}\cdot \text{SiO}_2$. Подовжено-призматичні кристали (довжина максимально 400 мкм) псевдоволостоніту іноді субпаралельні, іноді вони перетинаються (див. рис. 2). $\beta\text{-}2\text{CaO}\cdot \text{SiO}_2$ утворює ізометричні кристали розміром максимум 120 мкм.

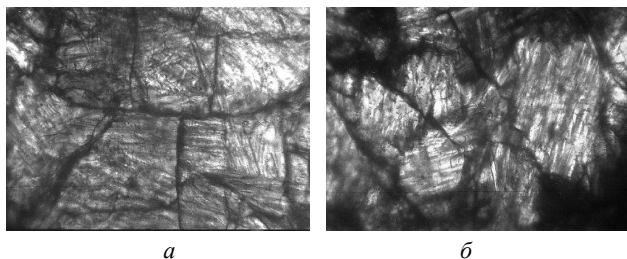


Рисунок 2 – Мікрофотографії зразка фракції > 20 мм відвального доменного шлаку ПАТ «Запоріжсталь», ніколі: а – паралельні; б – схрещені

Меліліти, судячи за величиною середнього показника заломлення $N \sim 1,654$, містять рівну кількість геленіту і окерманіту. Кристали мелілітів мають призматичну форму з довжиною до 200 мкм і шириною до 40 мкм. Піроксени як твердий розчин також містять рівну кількість діопсиду і геденбергіту. Кристали зелено-бурого забарвлення до 40 мкм у довжину. Між кристалічними фазами знаходиться тонка плівка скло фази з $N \sim 1,60\text{--}1,63$, що значно відрізняється від N для скла портландцементного клінкеру $N = 1,71\text{--}1,90$ [10].

Проба фракції < 0,63 мм відрізняється наявністю кальциту і уламків кварцу. Портландіт присутній у вигляді зерен (≤ 4 мкм) спільно з кальцитом.

Результати рентгенофазового і петрографічного аналізів добре узгоджуються один з одним. Але є і відмінності у визначенні якісного мінерального складу шлаку двома методами. Рентгенофазовим методом у складі кристалічної фази виявлено ранкініт з високою масовою часткою. Петрографічним аналізом додатково встановлено присутність піроксенів: діопсиду і геденбергіту, кальциту, ольдгаміту і склофази. Масова частка склофази дорівнює 10–15 %, що укладається у концентраційний інтервал скла портландцементного клінкеру 3–25 % [10]. Двухкальцієвий силікат виявлено у вигляді різних модифікацій. Хімічно активна α -модифікація знайдена при рентгенофазовому дослідженні. Однією з причин може бути його відсутність у склофазі. За результатами рентгенофазового аналізу масовий внесок SiO_2 зменшується при збільшенні розміру частинок шлаку. Загальний вміст геленіту і окерманіту, за рентгенофазовим методом певно вище, ніж у петрографічному аналізі, що доводить відсутність мелілітів в аморфній частині фракції. Крім того, петрографічний аналіз показав однакову кількість геленіту і окерманіту, а рентгенофазовий аналіз – істотну перевагу геленіту.

Елементний склад шлаку визначено методом електронно-зондового мікроаналізу (EPMA). Використано скануючий електронний мікроскоп JSM-6390 LV. Додаткова умова: система мікрорентгенівського аналізу INCA. Глибина аналізу становить близько 5 мкм. Максимальне відхилення у визначенні концентрації елементів становить 8,5 %. Результати мікрорентгенівського аналізу добре корелюють з результатами рентгенофазового аналізу фракцій шлаку. Елементи Калій, Натрій, Сульфур, Хлор, Купрум і Титан, що не входять до складу мінералів, були зареєстровані за допомогою скануючого електронного мікроскопа. Це дає підставу для припущення про їх сорбцію поверхнею частинок мінералів. Максимальний вміст K, Na і Ti зареєстрований у фракції 2,5–5 мм. Незначна кількість (< 1 %) Fe, Ti і Cu, які належать до 3 класу небезпеки речовин, не перешкоджає подальшій утилізації шлаку.

Аморфна компонента шлаку. Присутність аморфних речовин підтверджує виражений хвилястий фон на рентгенівських дифрактограмах деяких зразків шлаків. Проведений розрахунок масових часток кристалічного і склоподібного компоненту фракцій відвального доменного шлаку показав, що фракція < 0,63 мм на 52 % аморфна, а фракція > 20 мм – на 57 %. Високий вміст речовин в аморфному стані підтверджує можливість сорбції сторонніх іонів і сполук.

Клас небезпеки відвального доменного шлаку «Запоріжсталь». Використано методу визначення класу небезпеки промислових відходів, відповідно індексу токсичності [11]. За показниками індексу токсичності (4,3–5,4) і III класу небезпеки відвального доменний шлак «Запоріжсталь», як помірно небезпечний відхід, може використовуватися у якості вторинної сировини у будівельній галузі.

Гама-спектрометричні дослідження відвального доменного шлаку «Запоріжсталь». Гама-спектрометричний аналіз шлаку виконано за допомогою сцинтиляційного гама-спектрометра СЕГ-001 «АКП-С». Гама-спектрометричним методом визначені питомі активності природних радіонуклідів (ПРН) і ефективні питомі активності ($C_{\text{еф}}$) гранулометричних фракцій промислових відходів. Результати наведені в таблиці 1. Виявлено ПРН: ^{40}K , ^{226}Ra і ^{232}Th . Основний внесок до значення $C_{\text{еф}}$, у переважній більшості випадків вносить радіонуклід ^{226}Ra , потім – ^{232}Th . Внесок ізотопів у сумарну активність відвального доменного шлаку «Запоріжсталь» зменшується в ряду: $^{40}\text{K} > ^{226}\text{Ra} > ^{232}\text{Th}$. Радіонуклід ^{226}Ra з внеском більше 20 % становить небезпеку виділення радону. Радіоактивність фракцій шлаків варіює. Перевищення питомої активності виражено для фракції 2,5–5 мм. Відповідно значенню $C_{\text{еф}}$ шлак і його окремі фракції, що відносяться до першого класу радіаційної небезпеки ($C_{\text{еф}} \leq 370$ Бк/кг [12]), можуть використовуватися в будівництві без обмеження.

Таблиця 1 – Результати гама-спектрометричного аналізу фракцій відвального доменного шлаку «Запоріжсталь»

Фракція, мм	Активності (C), Бк/кг				
	ефективна	сумарна	питомі		
			^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th
Середня проба	76	193	134	41	18
> 20	74	167	108	40	19
2,5–5	89	225	155	49	21
< 0,63	75	178	119	39	20

Визначення кислотності поверхневих шарів частинок відходів проводили за допомогою рН-метра-мілівольтметра з твердофазним селективним електродом і модифікованим електродом порівняння в поліпропіленових корпусах. По фракціях шлаку кислотність варіює: найбільш основною є фракція < 0,63 мм (рН 9,7), для фракції 2,5–5 мм рН 9,1, найбільш кисла фракція > 20 (рН 8,2).

Висновки. Достовірно визначено елементний, мінеральний і радіонуклідний склад відвального до-

менного шлаку, що дозволяє прогнозувати його ресурсну цінність. Комплексний підхід дослідження включає рентгенофазовий, гама-спектрометричний, петрографічний і електронно-мікроскопічний аналіз. Рентгенофазовий аналіз дозволив виявити мінерали шлаку «Запоріжсталь», що знаходяться у кристалічному стані, підтвердити наявність аморфного стану речовин. Доведено наявність у складі шлаку мінералів, цінних у технічному відношенні при виробництві в'язучих матеріалів. Розрахована масова частка склоподібного компонента, що становить половину маси шлаку. За допомогою електронно-зондового мікроаналізу визначено елементний склад шлаку та токсичність його фракцій. Відвального доменний шлак класифіковано як помірно небезпечний відхід. Поповнено базу даних за вмістом природних радіонуклідів у техногенній сировині. Встановлено присутність у складі фракцій шлаку ^{226}Ra , ^{232}Th і ^{40}K . Перший клас радіаційної небезпеки шлаку визначає відсутність обмежень при використанні техногенної сировини в будівельній галузі.

Список літератури

- Humad A. M., Habermehl-Cwirzen K., Cwirzen A. Effects of Fineness and Chemical Composition of Blast Furnace Slag on Properties of Alkali-Activated Binder. *Materials* (Basel, Switzerland). 2019. Vol. 12 (20), pp. 3447. doi: <https://doi.org/10.3390/ma12203447>
- Krivenko V., Gelevera A. G., Kovalchuk O. Yu., Rogozina N. V. Influence of the chemical composition of blast-furnace slag on the whiteness of decorative slag-alkaline cements. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021. 1164 012040
- Tänzer R., Buchwald A., Stephan D. Effect of slag chemistry on the hydration of alkali-activated blast-furnace slag. *Mater Struct*. 2015. Vol. 48. pp. 629–641. doi: <https://doi.org/10.1617/s11527-014-0461-x>
- Yildirim I. Z., Prezzi M. Chemical, Mineralogical, and Morphological Properties of Steel Slag. *Advances in Civil Engineering*. 2011. Article ID 463638 doi: <https://doi.org/10.1155/2011/463638>
- Хоботова Е. Б., Уханьова М. І. А. с. № 34221, Україна. Методика визначення корисних властивостей промислових відходів з метою їх утилізації в якості технічних матеріалів. 2010.
- Радиационно-гигиеническая оценка строительных материалов, используемых в гражданском строительстве УССР. Киев, 1987. 21 с.
- Бокий Г. Б., Порай-Кошиц М. А. Рентгеноструктурный анализ. Т. 1. Москва: МГУ, 1964. 620 с.
- JCPDS PDF-1 File [Electronic resource]. ICDD: The International Centre for Diffraction Data, release 1994. PA, USA. Acces mode: <http://www.icdd.com>. Title screen.
- Juan Rodriguez-Carvajal. FullProf. 98 and WinPLOTR New Windows 95/NT Applications for Diffraction [Electronic resource]. Juan Rodriguez-Carvajal, Thierry Roisnel. Extended software/methods development: International Union of Crystallography: Newsletter №. 20, Summer 1998. P. 35-36. Acces mode : http://www.fkf.mpg.de/xray/CPD_Newsletter/cpd20.pdf.

Title screen.

10. Перепелицын В. А. Основы технической минералогии и петрографии. Москва.: Недра, 1987. 255 с.
11. Гігієнічні вимоги щодо поводження з промисловими відходами та визначення їх класу небезпеки для здоров'я населення: ДСанПіН 2.2.7.029-99. Київ, 1999. 21 с.
12. Нормы радиационной безопасности Украины (НРБУ-97). Киев: МОЗ, 1997. 121 с.

References (transliterated)

1. Humad A. M., Habermehl-Cwirzen K., Cwirzen A. Effects of Fineness and Chemical Composition of Blast Furnace Slag on Properties of Alkali-Activated Binder. *Materials* (Basel, Switzerland). 2019. no 12 (20), pp. 3447. doi: <https://doi.org/10.3390/ma12203447>
2. Krivenko V., Gelevera A. G., Kovalchuk O. Yu., Rogozina N. V. Influence of the chemical composition of blast-furnace slag on the whiteness of decorative slag-alkaline cements. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021. 1164 012040
3. Tänzer R., Buchwald A., Stephan D. Effect of slag chemistry on the hydration of alkali-activated blast-furnace slag. *Mater Struct*. 2015. Vol. 48. pp. 629–641. doi: <https://doi.org/10.1617/s11527-014-0461-x>
4. Yildirim I. Z., Prezzi M. Chemical, Mineralogical, and Morphological Properties of Steel Slag. *Advances in Civil Engineering*. 2011. Article ID 463638 doi: <https://doi.org/10.1155/2011/463638>
5. Khobotova E. B., Ukhanova M. I. Certificate of authorship no. 34221, Ukraine. *Metodyka vyznachennya korysnykh vlastyvostey promyslovykh vidkhodiv z metoyu yikh utylizatsiyi v yakosti tekhnichnykh materialiv* [Methods for determining the useful properties of industrial waste in order to dispose of them as technical materials]. 2010.
6. Radiatsionno-gigiyenicheskaya otsenka stroitel'nykh materialov, ispol'zuyemykh v grazhdanskom stroitel'stve USSR [Radiation-hygienic assessment of building materials used in civil engineering of the Ukrainian SSR]. Kiev, 1987. 21 p.
7. Bokiy G., B., Poray-Koshits M. A. *Rentgenostrukturnyy analiz* [X-ray structural analysis]. Vol. 1. Moscow: MGU, 1964. 620 p.
8. JCPDS PDF-1 File [Electronic resource]. ICDD: The International Centre for Diffraction Data, release 1994. PA, USA. Acces mode: <http://www.icdd.com>. Title screen.
9. Juan Rodriguez-Carvajal. FullProf. 98 and WinPLOTR New Windows 95/NT Applications for Diffraction [Electronic resource]. Juan Rodriguez-Carvajal, Thierry Roisnel. Extended software/methods development: International Union of Crystallography: Newsletter №. 20, Summer 1998. P. 35-36. Acces mode : http://www.fkf.mpg.de/xray/CPD_Newsletter/cpd20.pdf. Title screen.
10. Perepelitsyn V. A. *Osnovy tekhnicheskoy mineralogii i petrografii* [Fundamentals of technical mineralogy and petrography]. Moscow: Nedra, 1987. 255 p.
11. Hihiyenichni vymohy shchodo povodzhennya z promyslovyimi vidkhodamy ta vyznachennya yikh klasu nebezpeky dlya zdorovya naseleण्या: DSanPIN 2.2.7.029-99 [Hygienic requirements for industrial waste management and determination of their hazard class for public health]. Kyiv, 1999. 21 p.
12. Normy radiatsionnoy bezopasnosti Ukrainy [Radiation safety standards of Ukraine] (NRBU-97). Kiev: MOZ, 1997. 121 p.

Надійшла (reserved) 21.09.2021

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Даценко Віта Василівна (Даценко Вита Васильевна, Datsenko Vita Vasylivna) – канд. хім. наук, доцент, доцент кафедри ТДБМ і хімії Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (ХНАДУ), м. Харків, Україна; тел. +38(097)880-92-95; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8331-8863>; e-mail: dacenkovi-ta14@gmail.com.

Шуличенко Олена Миколаївна (Шуличенко Елена Николаевна, Shulichenko Olena Mykolayivna) – провідний інженер кафедри хімічного матеріалознавства Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна (ХНУ), м. Харків, Україна; тел. +38(0503027557); ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6713-5714>; e-mail: shulichenko@karazin.ua.

Хоботова Еліна Борисівна (Хоботова Элина Борисовна, Khobotova Elina Borisyivna) – докт. хім. наук, професор, професор кафедри ТДБМ і хімії Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (ХНАДУ), м. Харків, Україна, тел. +38(095)880-44-19, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6377-5186>, e-mail: elinahobotova@gmail.com