

Вывод. В данной работе освещаются аспекты решения многомерной задачи материаловедения как на теоретическом, так и на практическом уровне.

Раскрыто понятие размерности и ее компонент в задачах материаловедения, а также, что является ключевым, указаны способы так называемого уменьшения размерности.

Обоснованы требования к объекту исследования, его параметрам, чувствительность функций цели.

Понятие линеаризации подано в рамках решения задачи материаловедения.

В работе рассмотрены основные принципы создания и функционирования экспертных систем, разъяснены нюансы работы традиционной и нетрадиционной экспертной системы.

Представлена нетрадиционная экспертная система (использующая формирование информации в виде уравнений). Описан принцип работы данной системы ЭКС1 поэтапно.

Рассмотрен принцип определения области компромисса при моделировании механических характеристик материала.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Эйнштейн А. О методе теоретической физики // Сб. науч. тр. – М., 1967. – Т. 4. – 184 с.
2. Heisenberg W. Der Teil und das Ganze. Munchen, 1969, 212 p.
3. Шредингер Э. Что такое жизнь с точки зрения физики. – М. : Изд-во иностр. лит., 1947. – С. 50.
4. Нгуен Тхук Лоан. О некоторых методах синтеза самонастраивающихся систем управления с эталонной моделью //Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. – 1971. – № 2. – С. 206 – 215.
5. Вулдридж Д. Механизмы мозга. – М. : Мир, 1965. – 465 с.
6. Растрингин Л. А. Статистические методы поиска. – М. : Наука, 1968. – 387с.
7. Растрингин Л. А. Случайный поиск в задачах оптимизации многопараметрических систем. – Рига : Знание, 1965. – 279 с.
8. Brooks S. H. A Discussion of Random Methods for Seeking Maxims, Operations Research, March – April, 1958. – 245 с.
9. Дубров Ю. И., Ковальчук Д. С. К вопросу об автоматической адаптационной оптимизации объектов со стохастическим дрейфом функции цели // Кибернетика. АН УССР, 1971. – № 4. – С. 112 – 119.
10. Фихтенгольц Г. М. Курс дифференциального и интегрального исчисления. – Т. III. – М. : Физматгиз, 1963. – С. 393.
11. Федотов В. В. Теория оптимального эксперимента. – М. : Наука, 1971. – 437 с.
12. Нейлор К. Как построить свою экспертную систему. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 280 с.
13. Паск Г. Модель эволюции // Принципы самоорганизации. – М. : Мир, 1966. – С. 284 – 314.
14. Ивахненко А. Г. Свободу выбора вычислительной машине! Эргатические системы управления. – К. : Наукова думка, 1974. – С. 17 – 22.

УДК: 699.712:002.68

ИССЛЕДОВАНИЕ НИЗКОКАЧЕСТВЕННОГО СЫРЬЯ И ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ С ЦЕЛЬЮ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА

А. П. Приходько, д. т. н., проф., Н. В. Шпирько, д. т. н., проф., Н. С. Сторчай, к. т. н., доц., А. Н. Гришко, асп., Ю. Н. Вечер, асп., Д. В. Кононов, асп., Б. В. Богданов, студ.

Ключевые слова: *суглинистое сырье, керамический кирпич, техногенные продукты производства, температура обжига, рентгенофазовый анализ, дифференциально-термический анализ*

Актуальность проблемы. В условиях современной экономики в связи с дефицитом высококачественного сырья и большими затратами на его транспортировку сложилась необходимость использовать в производстве керамического кирпича местное низкосортное

суглинистое сырье. Повысить прочностные характеристики керамического кирпича на низкосортном сырье можно путем использования местного силикатсодержащего сырья, которое имеется в достаточном количестве в производственных отходах и попутных продуктах промышленности строительных материалов. Основными поставщиками отходов являются горнодобывающая, химическая, металлургическая, топливно-энергетическая отрасли [1]. Отходы производства являются источниками антропогенного загрязнения окружающей среды в глобальном масштабе и возникают как неизбежный результат потребительского отношения и низкого коэффициента использования ресурсов. В последнее время проблема ликвидации и использования отходов возникла в более острой форме. По предварительным данным, в Украине объем образования отходов различных отраслей промышленности сохранился на уровне последних десятилетий советского периода и составляет 1 млрд т в год [2]. Уменьшение запасов качественного природного сырья при накоплении запасов техногенных продуктов производства делает **актуальной** проблему утилизации отходов, особенно в индустриальных районах.

Анализ публикаций. Одним из путей повышения качества стеновых материалов является улучшение спекания изделий за счет появления низкотемпературных расплавов [1 – 6], образующихся при плавлении легкоплавких добавок, в том числе из отходов производства в виде нефелиновых отходов и других шламов алюминиевого производства, фосфорного шлака, гранулированного ваграночного и электротермофосфорного шлаков. Кроме того, используется возможность плавления эвтектик, появляющихся при взаимодействии оксидов железа, марганца, а также щелочей, вводимых в массы с сырьевыми компонентами. Такие добавки в количествах 6 – 35 % снижают температуру обжига на 50 – 150°C и обеспечивают повышение прочности стеновых изделий с 7,5 до 30 МПа [1 – 3; 5 – 7].

Исследованиями С. Ж. Сайбулатова установлено, что появление первичного щелочно-железистого расплава в локально уплотненных участках при спекании золокерамики происходит при температурах до 850°C. При более высоких температурах (850 – 1050°C) происходит увеличение количества жидкой фазы, способствующей началу кристаллизации упрочняющего керамический черепок муллита [8].

В составах масс для изготовления стеновых материалов применяется марганцевый флотоконцентрат, содержащий приблизительно 35 % оксида марганца и красные шламы – отходы производства глинозема из бокситов, содержащие 49 % Fe_2O_3 [9; 17; 18]. Эти отходы исследовали в количестве от 3 – 5 до 30 % в смеси с легкоплавкой карбонатной глиной (CaO – 12,3 %, CO_2 – 8,66 %) для получения лицевого кирпича объемного окрашивания [9 – 11].

Исследованиями, выполненными под руководством Абдрахимова В. З. установлены отличительные особенности получения керамических материалов на основе железосодержащих побочных продуктов цветной металлургии, заключающиеся в появлении жидкой фазы при более низкой температуре, что способствует образованию муллита на 50 – 100°C ниже, чем в керамических материалах на основе традиционного сырья [12 – 14].

На основании комплексных исследований дана классификация техногенного железосодержащего сырья по его функциональной пригодности в производстве керамических материалов. В качестве критериев функциональной пригодности взято определенное соотношение оксидов $Fe_2O_3 / CaO + MgO$, $SiO_2 + Al_2O_3 / Fe_2O_3$, R_2O / RO : при содержании $Fe_2O_3 / CaO + MgO$ более 1, а $SiO_2 + Al_2O_3 / Fe_2O_3$ менее 2 побочный продукт относится к интенсификаторам спекания; при содержании $Fe_2O_3 / CaO + MgO$ менее 1, $SiO_2 + Al_2O_3 / Fe_2O_3$ более 2, R_2O / RO менее 2 побочный продукт – отощитель [12 – 14].

Таким образом, анализ литературных источников показывает, что качество кирпича (прочность, морозостойкость) повышается при использовании масс рационального зернового состава, новых технологий подготовки сырья и отходов производств в виде зол, шлаков и золошлаковых смесей, за счет снижения чувствительности масс к сушке, увеличения количества появляющегося расплава в процессе обжига, формирования в керамике муллитоподобной фазы, анортита, волластонита.

Цели и задачи исследований. На основании выполненного литературного анализа в исследованиях была сформулирована рабочая гипотеза, цели и задачи исследований. Учитывая, что в отходах производств содержится большое количество ценных компонентов, необходимо исследовать вещественный состав и технологические свойства отходов, глинистых проб, а также провести их оценку как сырья с целью дальнейшего использования для получения керамического кирпича.

Основные задачи, которые решались на данном этапе, – изучить влияние отходов производства на физико-механические свойства керамических образцов, и, далее, разработать оптимальные составы керамических шихт на основе отходов, обеспечивающих необходимые физико-механические характеристики керамических стеновых материалов при минимальном содержании глинистой составляющей сырья.

Методы исследований. Рентгенофазовый анализ исследуемых материалов осуществлялся в соответствии с ДСТУ Б А.1.1-8-94 сравнением межплоскостных расстояний $d_{\text{экс}}$ с соответствующими эталонными данными. Метод базируется на определении положения и интенсивности линий дифрактограмм.

Дифрактограммы получены на рентгеновском дифрактометре ДРОН-4 с фокусировкой по Бреггу – Брентано. Регистрация дифракционного спектра проводилась с помощью сцинтилляционного счетчика. Использовалась рентгеновская трубка с медным анодом БСВ-23. Съемка проводилась в Си излучении отфильтрованного с помощью плоского графитового монохроматора, расположенного на вторичном пучке перед счетчиком. Образец непрерывно вращался относительно оси, перпендикулярной его плоскости.

Полученный набор экспериментальных значений d/n сравнивался со справочными литературными данными [15; 16 – 18] и с данными картотеки JCPDS (международная база рентгеновских данных по всем известным фазам) [19].

Сравнение начинается с наиболее интенсивных линий. Критерием наличия фазы являлось совпадение не менее трех значений межплоскостных расстояний, соответствующих наиболее интенсивным ее линиям на дифрактограмме.

Дифференциально-термический анализ в соответствии с ДСТУ Б А.1.1-7-94 выполнялся на дериватографе системы А. Эрдея, Ф. Паулика, И. Паулика. Для исследования готовились образцы измельчались в порошок и готовились навески массой 200 мг. Расшифровка результатов производилась по литературным данным [15; 16; 20].

Результаты исследований. В наших исследованиях в качестве основных сырьевых компонентов и добавок использовалось следующее сырье природного и техногенного происхождения: суглинок Новоалександровский, шламы Николаевского глиноземного завода, Запорожского алюминиевого комбината, завода имени Карла Либкнехта, а также ил Центральной станции аэрации и отходы обогащения ильменитовой руды. Химический состав сырьевых компонентов представлен в таблицах 1, 2.

Таблица 1

Химический состав сырьевых компонентов

№ п/ п	Наименование	Содержание в % на высушенное вещество при 100 °С										
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	п.п.п.
1	суглинок Новоалександровский	69,8	7,2	2,1	0,77	0,070	0,030	7,0	1,9	1,95	0,80	8,0
2	шлам Николаевского глиноземного завода	4,1	12,1	59,7	5,7	–	–	7,7	–	–	1,7	10,7
3	шлам Запорожского алюминиевого комбината	10,5	16,6	40,7	4,2	–	–	12,1	–	–	6,3	9,4
4	шлам завода им. К. Либкнехта	0,80	0,25	41,0	0,03	0,305	1,6	1,5	1,0	4,6	2,8	12,6
5	ил Центральной станции аэрации	23,6	3,8	6,5	0,32	7,0	0,042	5,8	1,1	0,35	0,35	50,0
6	отход Павлоградской ЦОФ	59,0	17,9	4,4	1,0	0,120	0,025	0,55	1,65	2,8	0,65	11,2

Таблица 2

Химический состав отхода обогащения ильменитовой руды, мас. %

SiO ₂ общ	SiO ₂ несвяз	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	R ₂ O	TiO ₂ +ZrO ₂
62,50	30,40	20,50	2,90	1,00	0,80	0,21	0,44	10,70

Рентгенофазовый и комплексный термический анализы (рис. 1, 2) показали наличие в суглинке в основном таких минералов как иллит ($d = 0,3363; 0,2563; 0,1650; 0,1503$ нм), гидрослюда ($d = 0,2902; 0,2848; 0,2156; 0,202; 0,166; 0,152$ нм), эндоэффект при температуре 100°C , связанный с удалением адсорбционной воды, максимальный эндоэффект при температуре 840°C , связанный с разрушением кристаллической решетки, каолинит ($d = 0,4847; 0,1619; 0,1283$ нм), эндоэффект при температуре 590°C , связанный с выделением конституционной воды и разрушением кристаллической решетки, основная часть потери массы при прокальвании происходит при температуре 840°C , и β -кварц ($d = 0,336; 0,2455; 0,2275; 0,1813; 0,1539; 0,1450$ нм).

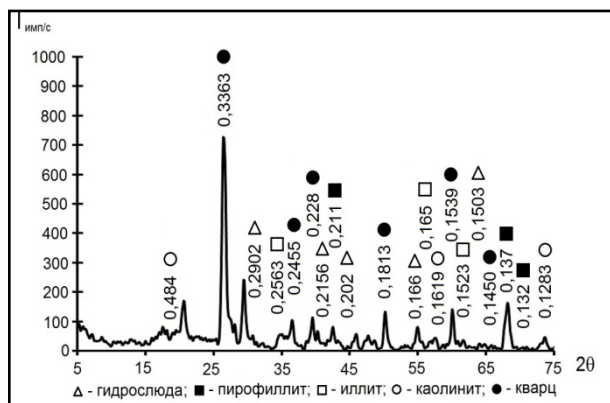


Рис. 1. Рентгеновская дифрактограмма Новоалександровского суглинка

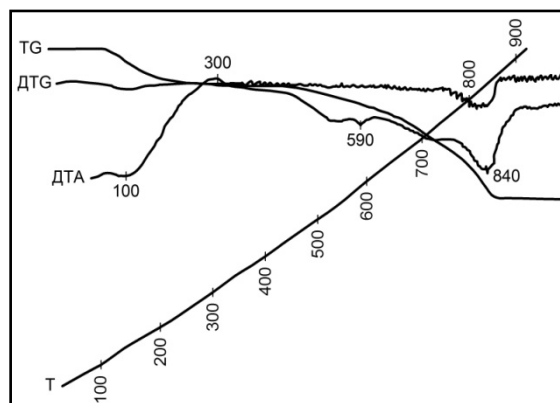


Рис. 2. Комплексный термический анализ Новоалександровского суглинка

В результате изучения суглинка было установлено, что значение его оптимальной формовочной консистенции составляет: относительная влажность – 18,02 % и абсолютная влажность – 22,02 %. По числу пластичности суглинок принадлежит к умеренно пластичным. Влажность, соответствующая границе текучести, составляет 30,25 %, границе раскатывания – 17,67 %. Число пластичности – 12,57.

Значения гранулометрического состава суглинка представлены в таблице 3.

Таблица 3

Гранулометрический состав суглинка

Содержание фракций, % масс.		
Песчаные частицы (1 – 0,05) мм	Пылеватые частицы (0,05 – 0,005) мм	Глинистые частицы (менее 0,005) мм
39	48,51	12,49

Данные анализа гранулометрического состава представлены на тройной диаграмме распределения фракций «глинистые – пылеватые – песчаные» (рис. 3).

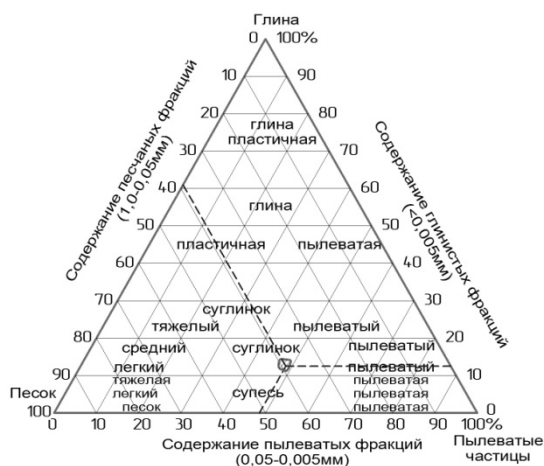


Рис. 3. Тройная диаграмма распределения фракций «глинистые – пылеватые – песчаные»

В исследованиях использовали вторичные продукты производства. Красный шлам Николаевского глиноземного завода, который является отходом, образующимся при переработке бокситов на глинозем по способу Байера. Красный шлам соответствует ТУ 48-2853-310-85, ДСТУ Б В.2.7-39-95.

Байеровский шлам Николаевского глиноземного завода считают наиболее высокожелезистым (содержание Fe_2O_3 доходит до 70 %), содержание щелочей Na_2O 1,5...2,0 % (по массе), что считается наиболее низким из всех байеровских шламов. Результаты проведенного нами рентгенофазового и дифференциально-термического анализа красного шлама Николаевского глиноземного комбината представлены на рисунках 4 и 5. По межплоскостным расстояниям на рентгенограмме (рис. 4) были идентифицированы следующие фазы: гематит $\alpha-Fe_2O_3$ (d/n 0,268; 0,250; 0,219; 0,183; 0,168; 0,148; 0,145 нм); гетита ($FeO(OH)$) (d/n 0,269; 0,172 нм); ДТА: (-) 330°C (дегидратация с переходом в $\alpha-Fe_2O_3$; гидраргиллит (гиббсит) (d/n 0,482; 0,433; 0,245; 0,214; 0,204; 0,1798; 0,168; 0,145 нм); ДТА гидраргиллита (-) 260°C (частичная дегидратация и образование бемита); экзоэффект (+) 800°C (переход $\gamma-Al_2O_3$ $\alpha-Al_2O_3$); β -кварц (d/n 0,334; 0,181; 0,153; 0,137 нм); ДТА (-) 575 °C; $CaCO_3$ – наличие в пробе кальцита идентифицировалось по следующим дифракционными характеристикам (d/n 0,302; 0,227; 0,2088; 0,19; 0,186; 0,152 нм); ДТА: (-) 790 – 910°C.

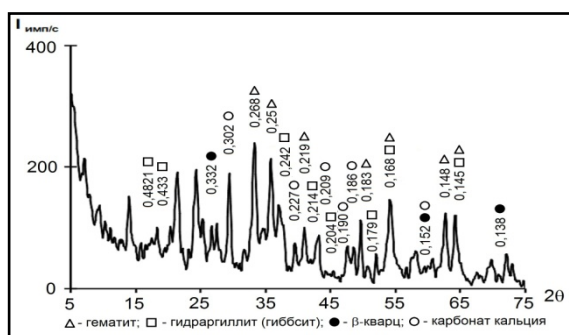


Рис. 4. Рентгеновская дифрактограмма красного шлама Николаевского глиноземного завода

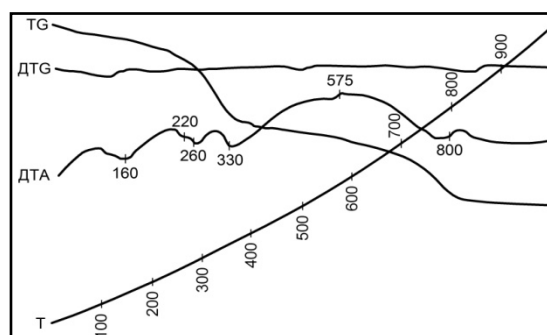


Рис. 5. Комплексный термический анализ красного шлама Николаевского глиноземного завода

Шлам отвальный бокситовый Запорожского алюминиевого комбината (ТУ 48-2853-310-85, ДСТУ Б В.2.7-39-95) – вторичный продукт, образующийся при переработке бокситов на глинозем по комбинированному способу Байер-спекания; его характеристики представлены в таблицах 6, 7.

Гранулометрический и фазово-минералогический составы красного шлама Николаевского глиноземного завода и Запорожского алюминиевого комбината приведены в таблицах 4 – 5.

Таблица 4

Гранулометрический состав красного шлама

№ п/п	Наименование материала	Массовое содержание фракций, %, в интервале с граничными радиусами, мм.				Удельная поверхность, м ² /г
		Песок 1...0,05	Пыль крупная и мелкая 0,05...0,005	Пыль иловая 0,005...0,002	Глина < 0,002	
1	шлам Николаевского глиноземного завода	10	84	3	3	17
2	шлам Запорожского алюминиевого комбината	32	62	4	2	14

Фазово-минералогический состав шлама

Основные фазы	Содержание, % масс.	
	шлам Николаевского глиноземного завода	шлам Запорожского алюминиевого комбината
Гидрогранаты общей формулы $3\text{CaO}(\text{Al,Fe})_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	15 – 25	28 – 35
Гематит $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$	25 – 35	18 – 25
Гетит $\alpha\text{-FeO(OH)}$	25 – 35	15 – 25
Гидроалюмосиликаты натрия	6 – 10	8 – 11
Рутил и анатаз	4,5 – 6,5	4,5 – 6
Кальций	2 – 7	1 – 4
Аморфный гидроксид железа	–	2 – 5
Перовскит	следы	Незначительные примеси
Кварц	Незначительные примеси	–

Результаты проведенного нами рентгеноструктурного и дифференциально-термического анализа Запорожского красного шлама представлены на рисунках 6 и 7. По полученной рентгенограмме (рис. 4) было идентифицировано наличие следующих фаз: магнетита $\text{Fe}_3\text{O}_4 \cdot \text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ (d/n 0,253; 0,209; 0,174; 0,162 нм); гематита $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (d/n 0,269; 0,253; 0,22; 0,17 нм); гетита $\alpha\text{-FeO(OH)}$ (d/n 0,336; 0,269; 0,245 нм); гидрограната $\text{C}_3\text{FS}_{0,5}\text{H}_5$ (d/n 0,228; 0,209 нм); шамозита $(\text{Fe}^{2+} \text{Fe}^{3+}) [\text{AlSi}_3\text{O}_{10}] (\text{OH})_2(\text{Fe Mg})_3 (\text{O,OH})_6$ (d/n 0,435; 0,413; 0,362; 0,181 нм); кальцита (d/n 0,384; 0,305; 0,227; 0,208 нм); гипса полуводного $\alpha\text{-CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ (d/n 0,607; 0,302; 0,184 нм); гидроалюмината C_3AH_6 (d/n 0,269; 0,219; 0,1905; 0,155 нм)

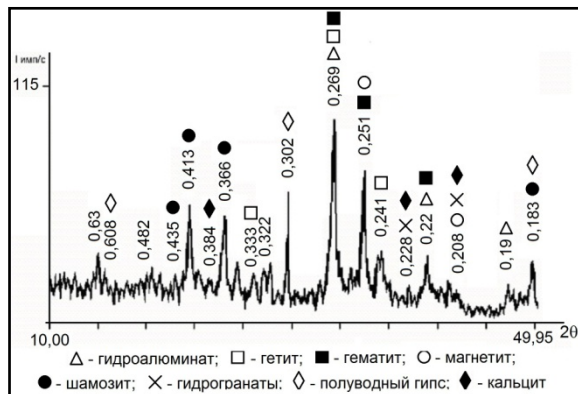


Рис. 6. Рентгенограмма красного шлама Запорожского алюминиевого комбината

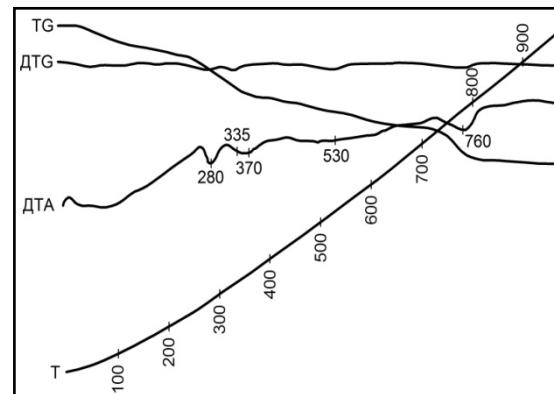


Рис. 7. Комплексный термический анализ шлама Запорожского алюминиевого комбината

Наличие данных фаз подтверждают результаты дифференциально-термического анализа, представленного на рисунке 7.

Заводские данные по химическому и минералогическому составам красного шлама за несколько лет свидетельствуют об их постоянстве. В данных исследованиях был использован красный шлак, отобранный по берегам шламохранилища.

Рентгенофазовый и дифференциально-термический анализ шлама завода им. К. Либкнехта представлен на рисунках 8, 9.

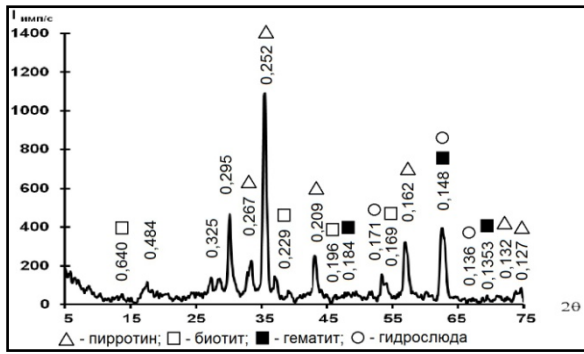


Рис. 8. Рентгеновская дифрактограмма шлама завода им. К. Либкнехта

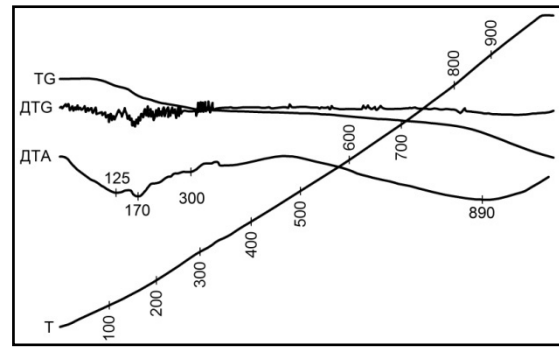


Рис. 9. Комплексный термический анализ шлама завода им. К. Либкнехта

Рентгенофазовый и комплексный термический анализы (рис. 8, 9) показали наличие в шламе К. Либкнехта в основном таких материалов как пирротин ($d = 0,267; 0,252; 0,209; 0,162; 0,132; 0,127$ нм), биотит ($d = 0,640; 0,229; 0,196; 0,169; 0,128$ нм), гематит ($d = 0,184; 0,1481; 0,1353$ нм); гидрослюда ($d = 0,171; 0,136; 0,148$ нм), эндоэффекты при 125, 170, 890°C.

Рентгеноструктурный анализ ила Центральной станции аэрации г. Днепропетровск представлен на рисунке 10.

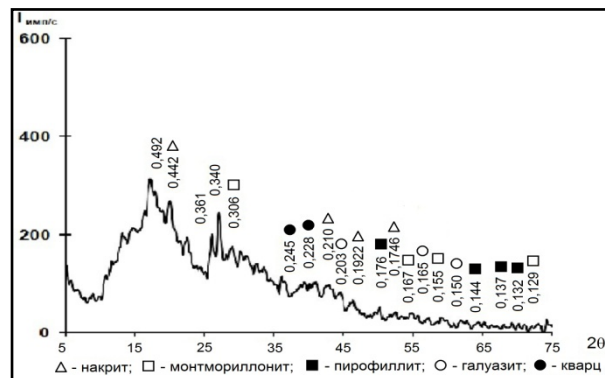


Рис. 10. Рентгеновская дифрактограмма ила Центральной станции аэрации г. Днепропетровск

Рентгенофазовый анализ (рис. 10) показал наличие в иле Центральной станции аэрации таких минералов как накрит ($d = 0,442; 0,210; 0,1922; 0,174$ нм), монтмориллонит ($d = 0,306; 0,167; 0,155; 0,129$ нм), пирофиллит ($d = 0,176; 0,144; 0,137; 0,135, 0,132$ нм), галуазит ($d = 0,203; 0,165, 0,150; 0,147$ нм), кварц ($d = 0,245; 0,228; 0,1813$ нм).

В исследованиях также использовались вторичные продукты, образующиеся при обогащении ильменитовой руды Вольногорского горно-металлургического комбината (ТУ У 14-10-00-5-98).

Указанный материал представляет собой высокодисперсный порошок светло-коричневого цвета. Рентгенофазовый и комплексный термический анализы (рис. 11, 12) показали наличие в нем, в основном, таких минералов как монтмориллонит ($d = 0,306; 0,2606; 0,131$ нм); каолинит ($d = 0,714; 0,357; 0,229; 0,199; 0,167; 0,165; 0,148; 0,131$ нм) и β-кварц ($d = 0,427; 0,335; 0,247; 0,215; 0,182; 0,154; 0,138; 0,137$ нм) (рис. 11).

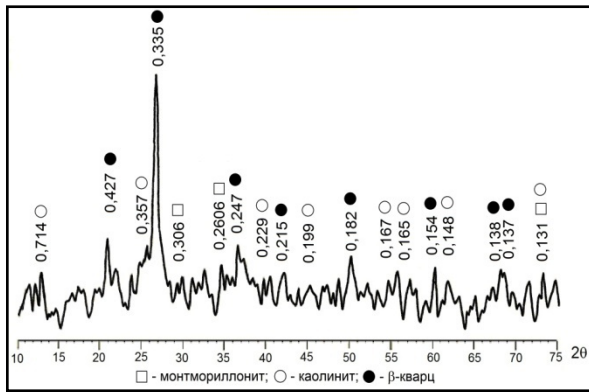


Рис. 11. Рентгенофазовый анализ вторичных продуктов обогащения ильменитовой руды Вольногорского горно-металлургического комбината

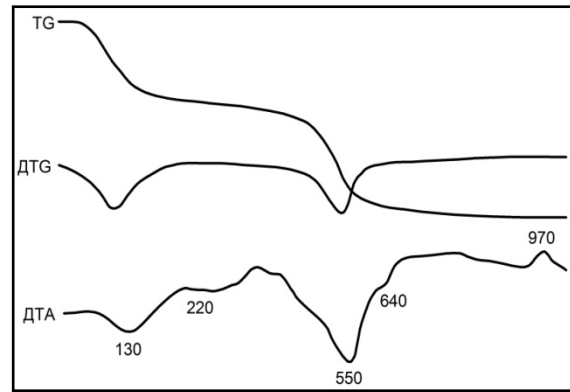


Рис. 12. Комплексный термический анализ вторичных продуктов обогащения ильменитовой руды Вольногорского горно-металлургического комбината

В исследованиях необходим материал, содержащий достаточное количество плавней и обладающий гидратационным взаимодействием с вяжущим. Подобными свойствами обладает шлам и ил. Применение шлама в сочетании с илом, в составе керамической массы позволит снизить температуру спекания и расширить сырьевую базу, а также снизит расход электроэнергии.

Технологические параметры производства керамического кирпича и эффективность использования данных отходов определяют следующие показатели: пластичность, воздушную и огневую усадку, связующую способность, спекаемость и чувствительность к сушке. Исследования проводились в соответствии с нормативными требованиями. Были исследованы составы с различным содержанием шлама К. Либкнехта: контрольный (без добавки шлама), 5, 10 и 15 % шлама от массы суглинка.

Добавление 10 % шлама приводит к снижению абсолютной влажности с 18,02 до 16,31 % и относительной – с 22,02 до 19,48 %. Также при введении шлама снижаются показатели влажности, соответствующие границы текучести и раскатывания. Число пластичности снижается при введении 10 % шлама с 12,57 до 5,65. Введение шлама также приводит к снижению воздушной, общей и огневой усадки. Так, при введении 10 % шлама воздушная усадка снижается с 3,59 до 1,63 %. Введение в керамическую массу шлама за счет содержания в нем щелочных оксидов приводит к снижению температуры спекания с 1000°C до 950°C.

После обжига суглинка с различным содержанием шлама при температуре 950°C минеральный состав изменяется.

Выводы. Исследуемая проблема использования техногенных отходов при производстве керамического кирпича является актуальной. Использование шлама и ила в сырьевой смеси при производстве керамического кирпича позволит повысить физико-механические свойства кирпича, снизить температуру обжига и, соответственно, энергетические затраты на обжиг.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Использование нефелиновых отходов в производстве стеновых материалов / П. А. Иващенко, В. П. Варламов, Д. А. Варшавская [и др.] // Промышленность керамических стеновых материалов и пористых заполнителей. – 1977. – Вып. 6. – С. 5 – 8.
2. Использование колошниковой пыли при производстве кирпича / Н. И. Демин, И. С. Власова, И. А. Никитин [и др.] // Промышленность керамических стеновых материалов и пористых заполнителей. – 1975. – Вып. 3. – С. 3 – 4.
3. Рудник Н. Н. Использование добавки гранулированного шлака для повышения механической прочности лицевого кирпича / Н. Н. Рудник, Д. И. Юрченко // Промышленность керамических стеновых материалов и пористых заполнителей. – Вып. 12. – С. 9 – 10.
4. Ефимов А. И. Эффективность действия минерализующих добавок / А. И. Ефимов, Э. М. Жукова, В. П. Варламов // Строительные материалы. – 1984. – № 7. – С. 24 – 25.
5. Фадеева В. С. Эффективные керамические изделия на основе агренской глины,

фосфорных отходов и отходов обработки мрамора / В. С. Фадеева, С. А. Садыкова, В. П. Варламов // Строительные материалы. – 1981. – № 6. – С. 21 – 22.

6. Пустотелый лицевой кирпич для сейсмических районов / Р. Ш. Валишев, Ф. И. Великанова, А. И. Ставчинский [и др.] // Строительные материалы. – 1981. – № 5. – С. 13.

7. Садыкова С. А. Улучшение свойств лессового кирпича / С. А. Садыкова // Строительные материалы. – 1980. – № 7. – С. 12.

8. Сайбулатов С. Ж. Ресурсосберегающая технология керамического кирпича на основе зол ТЭС / С. Ж. Сайбулатов – М. : Стройиздат, 1990. – 248 с.

9. Альперович И. А. Лицевой кирпич объемного окрашивания на основе карбонатной глины / И. А. Альперович, Н. Г. Перадзе // Промышленность керамических стеновых материалов и пористых заполнителей. – 1990. – Вып. 2. – С. 20 – 23.

10. Альперович И. А. Лицевой керамический кирпич – экологически чистый стеновой материал / И. А. Альперович // Строительные материалы. – 1994. – № 10. – С. 5 – 7.

11. Петухова Г. Н. Использование бокситовых шламов в производстве строительной керамики / Г. Н. Петухова // Промышленность строительных материалов. – 1988. – Вып. 5. – С. 11 – 13.

12. Абрахимов В. З. Влияние железосодержащего шлака на структуру пористости керамического кирпича / В. З. Абрахимов, Е. С. Абрахимова, В. П. Долгий // Известие вузов. Строительство. – 2006. – № 1. – С. 36 – 39.

13. Абрахимов В. З. Исследование фазового состава керамического кирпича ИК-спектроскопическим методом / В. З. Абрахимов, Е. С. Абрахимова // Изв. вузов. Строительство. – 2006. – № 5. – С. 41 – 44.

14. Абрахимов В. З. Термомеханические исследования керамического кирпича / В. З. Абрахимов, Е. С. Абрахимова // Известие Вузов. Строительство. 2006. – № 7. – С. 12 – 16.

15. Бутт Ю. М. Твердение вяжущих при повышенных температурах / Ю. М. Бутт, Л. И. Рашкович. – М. : Госстройиздат, 1961. – 232 с.

16. Горшков В. С. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ / В. С. Горшков, В. В. Тимашев, В. Г. Савельев – М. : Высшая школа, 1981. – 333 с.

17. Горелик С. С. Рентгенографический и электроннооптический анализ / С. С. Горелик, Л. Н. Расторгуев, Ю. А. Скаков. – М. : Metallургия, 1970. – 150 с.

18. Вегман Е. Ф. Кристаллография, минералогия, петрография, рентгенография / Е. Ф. Вегман, Ю. Г. Руфанов, И. Н. Федорченко. – М. : Metallургия, 1990. – 262 с.

19. Joint Committee on Powder diffraction standards / A Pennsylvania Non-profit Corporation 1601. Park Lane. Swarthmore, Pa.19081. Printed in Philadelphia. – 1975.

20. Горшков В. С. Термография строительных материалов / В. С. Горшков – М. : Издательство литературы по строительству, 1968. – 237 с.

УДК 693.547.2

МЕЛКОЗЕРНИСТЫЙ БЕТОН

Н. А. Сторожук, д. т. н., проф., О. Н. Яременко, магистр

Ключевые слова: мелкозернистый бетон, вакуумирование, вибровакуумирование, виброуплотнение, отсеvy гранитных карьеров, днепровский песок

Постановка проблемы. Природные запасы мелкого заполнителя исчерпываются. Поэтому возникает проблема использования для приготовления бетонов и строительных растворов альтернативных источников такого заполнителя. На наш взгляд, наиболее подходящим и перспективным является использование мелкозернистых отходов, получаемых при производстве щебня из плотных горных пород (гранита, сиенита, базальта и т. п.).

Бетоны на мелком заполнителе (мелкозернистые бетоны) характеризуются очень высокой водопотребностью, поэтому при формировании изделий их следует подвергать вакуумированию с целью удаления излишней воды затворения и, соответственно, повышения физико-механических свойств таких бетонов.

Анализ публикаций. Начало промышленного применения мелкозернистых бетонов датируется 20-ми годами прошлого столетия. В 1960 – 1970-х годах практиковалось активное применение мелкозернистых бетонов в строительстве. А именно: в тонкостенных