

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Захарченко Богдан Вікторович

УДК 691.421.24

**РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧА ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА КЕРАМІЧНОЇ
ЦЕГЛИ З ДОДАВАННЯМ МІНЕРАЛЬНОЇ ВАТИ**
СПЕЦІАЛЬНІСТЬ 101 – Екологія

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
магістра

Київ – 2018

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі інженерної екології в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» Міністерства освіти і науки України, м. Київ.

Науковий керівник:

Старший викладач, кандидат технічних наук
Жукова Наталія Іванівна Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», асистент кафедри інженерної екології;

Рецензент:

доктор технічних наук, професор
Фролов Олександр Олександрович Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Захист відбудеться «24» травня 2018 р. о 14⁰⁰ годині на засіданні ДЕК кафедри інженерної екології в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за адресою: 03056, м. Київ, вул. Борщагівська, 115, ауд. 201-22.

З дисертацією можна ознайомитися на кафедрі інженерної екології в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за адресою: 03056, м. Київ, вул. Борщагівська, 115, ауд. 203-22.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Реалізація національного проекту «Доступне і комфортне житло» сприяла масовому будівництву житлових комплексів та інфраструктури, внаслідок чого збільшилася потреба в якісних і довговічних будівельних матеріалах. В останні роки керамічна промисловість України переживає певне піднесення. Перше місце за обсягами виробництва серед будівельної кераміки по праву займає керамічна цегла.

Найбільш актуальне завдання на поточний момент - зниження вартості будівництва. У вартість побудованого житлового будинку частка будівельних матеріалів становить 15-25%, тоді як при їх виробництві вартість сировини іноді досягає 40-45%. У зв'язку з цим проблема зниження ціни сировинних матеріалів у виробництві керамічної цегли в Україні набуває особливої актуальності. Одним з аспектів вирішення цієї проблеми є використання промислових відходів. Розробка складових компонентів і технологій, що дозволяють використовувати техногенну сировину у виробництві будівельних керамічних матеріалів, сприяє раціональному застосуванню та значному збереженню наявних природних традиційних сировинних ресурсів, використання вироблених і вже накопичених техногенних відкладень, охорони навколишнього середовища, утилізації промислових відходів і зниження екологічної напруженості в регіоні та розширенню сировинної бази для будівельних матеріалів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Магістерська дисертація виконана у Інституті енергозбереження та енергоменеджменту у відповідності з тематичним планом науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України.

Метою роботи є: розробка теоретичних і практичних основ технології високоефективної цегли з бентонітової глини із застосуванням відходів мінераловатного виробництва, які забезпечують утилізацію техногенної сировини і підвищення фізико-механічних показників керамічної цегли.

Для досягнення поставленої мети в роботі визначені наступні **задачі дослідження:**

- вивчити хіміко-мінералогічні склади, фізико-механічні, реологічні, термічні і технологічні властивості сировинних матеріалів;
- встановити оптимальні склади для виробництва керамічної цегли на основі бентонітової глини із застосуванням відходів виробництва мінеральної вати;
- дослідити фазові перетворення, які відбуваються при випалюванні цегли;
- вивчити структуру пористості при різних температурах випалу цегли;
- вивчити взаємозв'язок фазового складу і структури пористості з фізико-механічними показниками цегли;
- дослідити можливість отримання керамічної цегли з підвищеною термостійкістю.

Об'єкт дослідження – процес виробництва керамічної цегли з додаванням відходів мінеральної вати.

Предмет дослідження – підвищення фізико-механічних показників керамічної цегли на основі бентонітової глини та відходів виробництва мінеральної вати.

Методи дослідження. Для наукового дослідження вмісту і будови відходів виробництва мінеральної вати, глинистих матеріалів і їх керамічних сумішей необхідно застосувати декілька фізичних і фізико-хімічних методів аналізу, що підтверджують результати.

Наукова новизна роботи

1. Виявлено, що використання відходів мінеральної вати, що містять більше 10% Fe_2O_3 , у виробництві керамічної цегли на основі бентонітової глини забезпечує при відносно низькій температурі 950 °С появу залізистого скла, що сприяє протіканню реакцій для кристалізації муліту.

2. При збільшенні температури випалу до 1050 °С відбувається кристалізація муліту, що пов'язано із заміщенням іонів Al^+ на Fe^+ . Кристалізація муліту в керамічній цеглі сприяє підвищенню його фізико-механічних показників.

3. Виявлено, що введення відходу мінераловатного виробництва «Королька» в склад керамічної маси на основі бентонітової глини, сприяє рівномірному розподілу пор за розмірами при температурі випалу 1050 °С.

Практична значимість роботи полягає в розробленні складових компонентів керамічних мас для виробництва керамічної цегли на основі бентонітової глини із застосуванням в якості зневоднювача і інтенсифікатора спікання відходів виробництва мінеральної вати.

Публікації.

Структура та обсяг роботи. Магістерська дисертація складається із вступу, 4-х розділів і висновку, викладених на 111 сторінках машинописного тексту, в тому числі містить 32 ілюстрації, 20 таблиць і список використаних джерел з 72 найменувань на 8 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі розглянуто актуальність обраної теми дисертації, обґрунтовано необхідність проведення наукових досліджень з вказаного напрямку, сформульовано мету і задачі досліджень, вказано на зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами, визначено об'єкт і предмет досліджень, подано перелік використаних методів досліджень для досягнення поставленої в роботі мети.

У першому розділі розглянуто основні тенденції та перспективні напрямки виробництва керамічної цегли.

Промисловість будівельних матеріалів є складовою частиною будівельного комплексу, а будівельний комплекс займає одну з провідних позицій в економічному потенціалі України. Будівельна діяльність, забезпечуючи відтворення основних фондів, сприяє вирішенню соціальних питань, розвитку економіки.

Міністерство будівництва та житлово-комунального господарства України здійснює повноваження з технічного регулювання розвитку та діяльності промислових підприємств по виготовленню будівельних матеріалів.

Промисловість будівельних матеріалів включає виробництво таких основних видів - цементу, цегли (силікатної, керамічної), інших стінових матеріалів, бетону і бетонних конструкцій, азбестоцементних виробів, плитки керамічної, брущатки, теплоізоляційних, покрівельних матеріалів і багатьох інших.

Керамічна цегла – будівельний матеріал, який користується великим попитом у будівництві житлових комплексів та інших приміщень. Динаміка обсягів виробництва цегли безпосередньо пов'язана з динамікою обсягів будівництва, що обумовлює попит на цеглу. Динаміка обсягів будівництва та виробництва цегли в Україні за 2008-2017 рр. зображено на рис. 1.

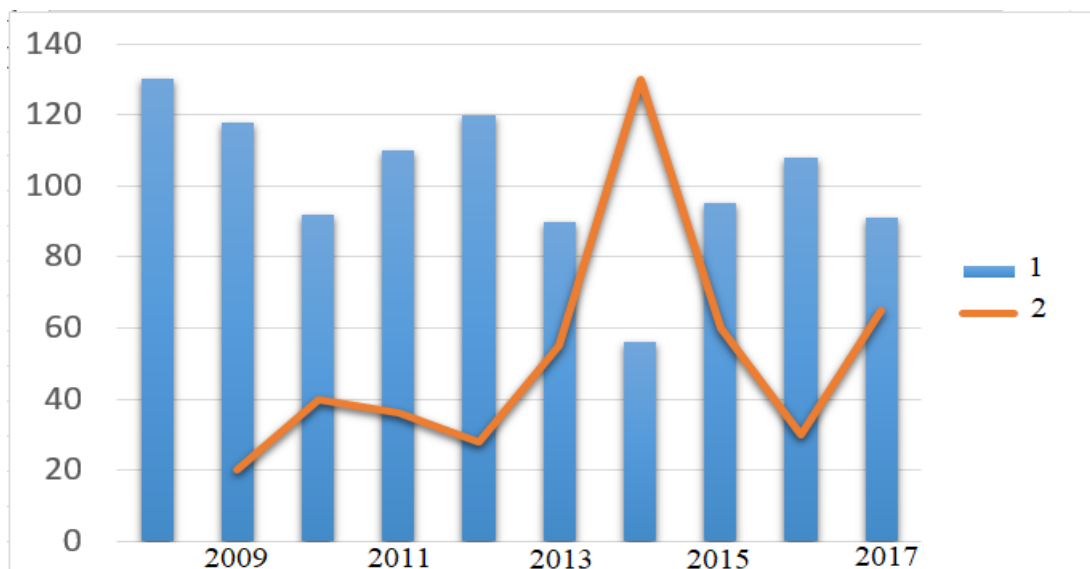


Рисунок 1 – Динаміка обсягів будівництва (1) та виробництва цегли (2) в Україні у 2008-2017 рр.

Літературні джерела показали, що чітко простежується тенденція використання відходів виробництва в технології керамічних матеріалів. Багато вчених для виробництва керамічної цегли пропонують застосовувати в складі

традиційних природних матеріалів в якості основного компонента золи ТЕС, відходи металургії та вугільного виробництва, які вивчалися як добавки, що зменшують пластичність глини та вигоряючі добавки. Найбільш перспективним вважається використання великотоннажних промислових відходів. Однак деякі з них характеризуються нестабільністю властивостей і містять небажані домішки, тому перед їх застосуванням необхідні спеціальні дослідження.

Накопичені на сьогоднішній день дані щодо застосування відходів виробництв в керамічних матеріалах не систематизовані, разом з тим недостатньо вивчені перспективні напрямки розвитку виробництва керамічних будівельних матеріалів, в тому числі:

- не досліджена можливість застосування в керамічній цеглі відходів виробництва мінеральної вати в якості добавки, яка зменшує пластичність глини та інтенсифікатора спікання;

- недостатньо досліджені фазові перетворення, які відбуваються при випалюванні керамічної цегли з використанням відходів мінеральної вати;

- недостатньо вивчено вплив відходів мінеральної вати на кристалізацію муліту;

- не вивчено вплив відходів мінеральної вати на структуру пористості керамічної цегли;

- не досліджена можливість отримання керамічної цегли на основі бентонітової глини і відходів виробництва мінеральної вати.

Аналіз стану питання дозволив висунути наступне: що для отримання керамічної цегли з поліпшеними фізико-механічними характеристиками і низькою собівартістю необхідно максимально використовувати відходи виробництва мінеральної вати.

У другому розділі розглядається дослідження будови глинистих матеріалів, керамічних суміші, відходів виробництва мінеральної вати.

Сучасна людина визнала специфічні властивості бентонітових глин, такі як висока іонообмінна здатність та зв'язувальна властивість, адсорбційна та каталітична активність. Завдяки своїм властивостям вона широко застосовується в різних галузях народного господарства. З кожним роком розширюється коло їх використання. На сьогодні бентонітові глини широко застосовуються в металургії для комкування залізородних концентратів і в ливарній справі, де бентоніт слугує якісним матеріалом при виготовленні формувальних сумішей та складником протипригарних фарб.

Бентоніт знаходить своє застосування і в будівництві при виготовленні керамзиту, морозостійкої та міцної цегли й черепиці; при виготовленні водостійких завіс та екрануючих матеріалів у водосховищах, дамбах, зрошувальних каналах, каналізаційних та індустріальних резервуарах, підземних спорудах; в якості ін'єкційних рідин у гідротехнічному та шахтному будівництві; при будівництві доріг як водоізолююча основа при укладанні асфальту; як заземлюючий матеріал при будівництві електротехнічних споруд.

У будівельній промисловості можуть використовуватись високодисперсні низькосортні бентоніти та бентонітоподібні глини, що має певний економічний ефект.

Зважаючи на зростання світової потреби в якісній бентонітовій сировині, постійне збільшення об'єму та розширення кола її використання, тому необхідне подальше проведення пошуково-розвідувальних робіт з виявлення на території нашої країни нових родовищ, але, насамперед, переоцінка та практичне розширення галузей використання бентонітових глин уже розвіданих родовищ.

Широке застосування бентонітових глин в народному господарстві обумовлено безліччю властивих переваг цього матеріалу. В першу чергу:

- відмінні гідроізоляційні властивості;
- здатність витримувати без шкоди для себе величезну кількість циклів заморожування і розморожування;
- простоту видобутку;
- відносно невисоку вартість.

Недоліків у цього матеріалу практично немає. Іноді зустрічаються поклади занадто жирної бентонітової глини. Виготовлені з неї вироби при висиханні можуть розтріскуватися. Однак цей недолік легко усувається за допомогою спеціальних обробок.

Фізико-хімічні і технологічні властивості бентонітових порід залежать від мінерального складу глинистих мінералів та особливостей структурної будови основного породоутворюючого мінералу. Однією з найважливіших умов можливості використання глинистих мінералів з практичною метою є характер їх взаємодії з водою і розчиненими в ній речовинами. Головним критерієм якості бентоніту є здібність утворювати у водному середовищі суспензії необхідних технологічних характеристик при мінімальному вмісті твердих фракцій.

Установлено, що високодисперсна частина бентонітової глини Черкаського родовища крім глинистих мінералів містить аутигенний барит та сферичні частинки, які діагностовано як алофани і опали. В зв'язку з тим, що глини в різних природних та кліматичних умовах формувались по різному, необхідно вивчати кожне родовище.

Розчин бентоніту представляє собою рідку фазу бентоніту і складається, в основному, із розчинених у воді солей. Сума іонів розчинених солей складає 0,26%, основна маса яких представлена гідрокарбонат-іонами (0,13 %), іонами натрію і калію (0,04 %), сульфатів (0,04 %), кальцію та хлоридів (0,02 %).

Повний хімічний аналіз колоїдних дисперсій виконано за схемою Щукарева (табл. 1).

Таблиця 1

Результати повного хімічного аналізу колоїдних дисперсій бентоніту Дашуківського родовища Черкаської області за схемою Щукарева, %

Компоненти бентоніту	%
Рідка фаза	57,71
Розчин бентоніту, у т.ч. :	57,45
Вода	57,19
Іони розчинених солей:	0,26
Na ⁺ + K ⁺	0,04
Ca ⁺	0,02

Mg ²⁺	0,01
SO ₄ ²⁻	0,04
Cl ⁻	0,02
CO ₃ ²⁻	-
HCO ₃ ⁻	0,13
Тверда фаза	-
I Кристалічна частина	22,53
Глинистий остів (силікатні частинки діаметром > 1 мкм)	22,53
Силікатні частинки діаметром > 250 мкм	0,39
Силікатні частинки діаметром 250-100 мкм	11,69
Силікатні частинки діаметром 100 – 10 мкм	6,90
Силікатні частинки діаметром 10-1 мкм	3,55
II Гідрофільний колоїдний комплекс	19,76
1. Силікатні частинки діаметром < 1 мкм	2,45
2. Речовини, розчинні у 10 % HCl, у т.ч.:	11,37
SiO ₂	0,35
Al ₂ O ₃	8,71
Fe ₂ O ₃	0,10
FeO – MnO	0,10
P ₂ O ₅	0,03
CaO	1,18
MgO	0,90
3. Гідротроїліт	-
4. Органічні речовини	-
5. Поглинені іони	5,94

При виробництві мінеральної вати з базальтової шихти утворюються два види відходів: «корольок» (на деяких підприємствах його називають - мінвата з «корольком») і продукт очищення димових газів від вагранки при отриманні розплаву при виробництві мінеральної вати (ВВР мінвати), даний відхід на деяких підприємствах іноді називають - відходи «Королька» (шлак ваграночний). Хімічний склад досліджуваних відходів наведено в (табл. 2).

Таблиця 2

Хімічний склад відходів виробництва мінеральної вати

Компонент	Вміст оксидів, %							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	R ₂ O	So ₃	В.п.п.
«Корольок»	43,2	7,3	23,6	14,6	7,72	2,79	0,9	0,8
Продукт очищення димових газів при ВВР мінвати	15,3	7,98	31,2	7,6	10,6	7,79	0,98	19,3

На (рис. 3) представлені знімки «Королька», а на (рис. 4) продукту очищення димових газів ВВР мінвати, зроблені на електронному растровому скануючому мікроскопі Phillips 525M.

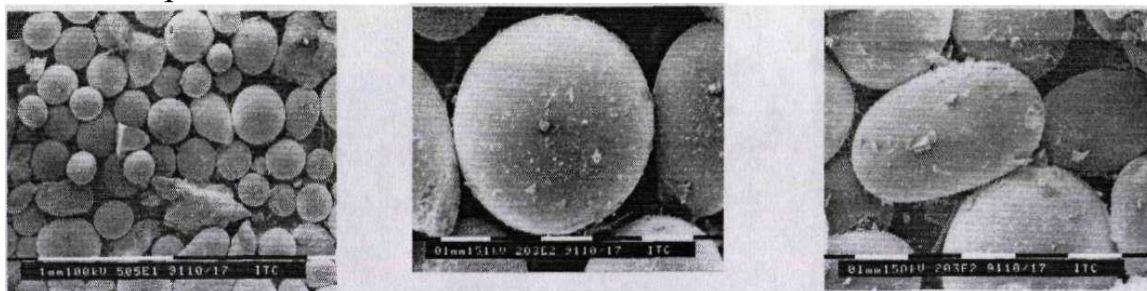


Рисунок 2 – «Корольок». Збільшення: А 1:50; Б, В 1:200

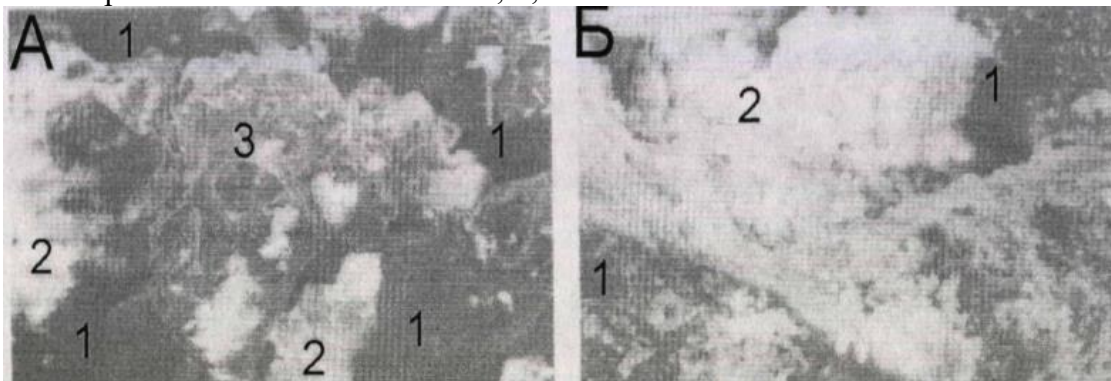


Рисунок 3 – Продукт очищення димових газів ВВР мінвати: 1 - органіка; 2 - склофаза; 3 - гематит. Збільшення: А-1:100, Б-1:1000

У процесі виробництва мінеральної вати не всі краплі розплаву встигають витягнутися в нитки, частина їх приймає форму кульок, джгутиків та ін. Такі включення називаються «корольками». Продукт очищення димових газів ВВР мінвати також є відходом і відділяється при виробництві мінеральної вати в окремі приймачі.

У (табл. 3) і на (рис. 4) наведено поелементні хімічні склади досліджуваних сировинних матеріалів.

Для аналізу розміру частинок досліджуваних сировинних матеріалів був проведений металографічний аналіз на мікроскопі МІМ-8М при збільшенні в 200 разів (1:200). Частинки матеріалів розчинялися в спирті, наносилися на скло і фотографувалися за допомогою фотоапарата.

Таблиця 3

Поелементний хімічний аналіз

Компонент	Концентрація, мас %								
	O	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Zn	Fe
«Корольок»	78,51	0,99	1,83	8,75	0,13	9,34	8,1	-	1,34
Продукт очищення димових газів ВВР мінвати	47,78	-	2,07	3,37	10,99	0,87	29,17	1,55	4,21

Щоб визначити точно розміри частинок, було сфотографовано кілька ділянок об'єкта. Використовуючи шкалу об'єкта мікрометра (1 справ. = 0,01 мм), зроблені фото при тих же умовах, були визначені середні розміри частинок матеріалів (рис. 2.4).

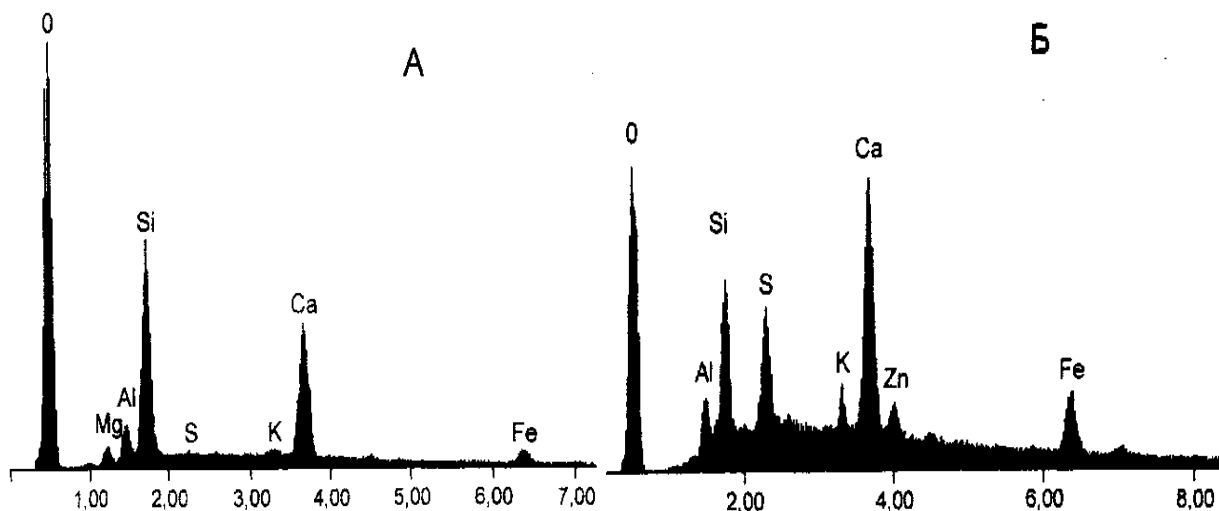


Рисунок 4 – Поелементний хімічний аналіз досліджуваних сировинних матеріалів: А - «корольок»; Б - продукт очищення димових газів ВВР мінвати

Гранулометричний склад відходів виробництва мінеральної вати представлений в (табл. 4).

Таблиця 4

Гранулометричний склад відходів виробництва мінеральної вати

«Корольок»	Фракція, мм	2,5-5	1,25-2,5	0,63-1,25	0,315-0,63	0,14-0,315	Менше 0,14
	Вміст, %	2,42	3,42	6,95	30,45	38,55	18,21
Продукт очищення димових газів ВВР мінвати	Фракція, мм	2,5-5	1,25-2,5	0,63-1,25	0,315-0,63	0,14-0,315	Менше 0,14
	Вміст, %	3,84	4,48	9,48	34,42	31,53	16,25

Склоподібна фаза «Королька» та продукту очищення і димових газів ВВР мінвати шихти неоднорідна і під мікроскопом представлена жовто-буриим кольором, обумовленим наявністю оксиду заліза, тому їх світло заломлення $N_0 = 1,6-1,63$ вище, ніж у глини.

Таким чином, дослідження показали, що відходи виробництва мінеральної вати містять склофазу і незначну кількість муліту, який буде центром кристалізації при випалюванні керамічних матеріалів. Крім того, продукт очищення димових газів від вагранки при отриманні розплаву при виробництві мінеральної вати має підвищений вміст втрат при прожарюванні (В.п.п.), що буде сприяти випалу в середині цегли.

У третьому розділі розглянуто реологічні, сушильні властивості та оптимізацію складових компонентів керамічних мас по фізико-механічних показниках.

Глинисті частинки є активними колоїдними компонентами дисперсних систем, тому в будівельному матеріалознавстві питанню реології надається особливе значення, так як вивчення властивостей глинистих мас і суспензій відіграє істотну роль в керамічному виробництві. Ступінь впливу глинистих частинок

залежить від величини їх питомої поверхні, що визначає сполучну здатність, тобто від властивості утримувати разом як свої частки, так і частки отоцітеля і плавнів. Питома поверхня глинистих частинок залежить від мінералогічного складу.

Структуроутворююча здатність монтморилоніту з питомою поверхнею $800 \text{ м}^2/\text{г}$ вважається найбільшою, а у каолініту з питомою поверхнею $10 \text{ м}^2/\text{г}$ - найменшою.

Систему глина-вода можна наближено вважати пружним пластичним тілом. Для характеристики такої системи застосовують модельний аналіз (модель Максвела та Кельвіна), що дозволяє кількісно оцінити механічну та деформаційну поведінку при накладення та знятті постійно діючих навантажень, тобто описати реологічні властивості досліджуваних систем.

Характер деформаційних процесів в дисперсних системах визначається їх реологічними властивостями. У свою чергу, реологічні параметри визначаються молекулярними силами, тобто зчеплення між елементами структури, взаємодією елементів між собою і з молекулами дисперсійного середовища, особливостями їх теплового руху. Змінюючи ці чинники шляхом підбору електроліту, можна регулювати реологічні властивості дисперсних систем, зменшуючи процеси руйнування, що протікають при формуванні та сушінні керамічних виробів. Це і визначило характер проведення наших досліджень.

Мірою здатності глин до поглинання катіонів служить ємність поглинання або катіонний обмін. Вона виражається (за пропозицією К. К. Гедройца) в «мекв» катіонів, поглинених 1 г глини і здатних до обміну. Так само виражається і ємність аніонного обміну. Неорганічні і органічні матеріали, здатні до обміну іонів, отримали назву іонітів. Максимальна кількість іонів, яка поглинається обмінним шляхом 10^{-3} кг (1г) іоніту, називають ємністю поглинання або обмінною ємністю, вона досягає 6-10 *мекв*/г.

Частина речовини глини, що здатна до адсорбції іонів, називається поглинаючим комплексом. Глини, насичені одним яким-небудь катіоном, наприклад, Na^+ , Ca^{++} позначаються так: Na^+ -глина, Ca^{++} - глина і т.д.

Технологічні властивості шлікера при інших рівних умовах визначаються його структурою. Структура шлікера істотно впливає на його фільтраційні властивості і відтворюючись при виливанні, обумовлює міру схильності його до утворення тріщин. Структуру шлікера можна оцінити за характером його перебігу.

Для перевірки впливу «Королька» на реологічні та сушильні властивості керамічної шихти був досліджений склад керамічних мас, наведений в (табл. 5).

Таблиця 5

Склад керамічних мас

Компонент	Вміст компонентів, мас %		
	1	2	3
Бентонітова глина	70	60	50
«Корольок»	30	40	50

Для вивчення впливу продукту очищення димових газів від вагранки при отриманні розплаву при виробництві мінеральної вати (ВВР мінвати) на фізико-механічні показники цегли були досліджені складові компоненти, що наведений в (табл. 6).

Таблиця 6

Склад керамічних мас

Компонент	Вміст компонентів, %							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Бентонітова глина	100	85	80	75	70	65	60	55
Продукт очищення димових газів відходів виробництва мінеральної вати	0	15	20	25	30	35	40	45

Вивчення впливу продукту очищення димових газів відходів виробництва мінеральної вати на основні фізико-механічні показники цегли (водопоглинання, міцність на стиск та морозостійкість) проводилося з використанням методу лінійної регресії. Модель будується на підставі результатів фактичного експерименту і аналітично описує залежність результатів дослідів.

Визначальним фактором якості керамічної цегли є єдиний показник – відсотковий вміст продукту очищення димових газів відходів виробництва мінеральної вати в складі керамічної маси. Експеримент складався з восьми дослідів. У першому досліді незалежна змінна X приймала мінімальне значення, яке рівне 0%. В кожному наступному досліді вміст продукту очищення димових газів відходів виробництва мінеральної вати збільшували, а в останньому досліді X прийняла максимальне значення, яке рівне 45% (табл. 6).

Склад керамічної маси готували пластичним способом формування при вологості шихти 22-28% (в залежності від вмісту бентонітової глини). Зформовані цеглини, висушені до залишкової вологості не більше 8%, обпікалися при температурі 1050°C. Фізико-механічні показники цегли наведені в (табл. 7).

Таблиця 7

Фізико-механічні показники зразків

Показник	Склад							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Водопоглинання, % Y_1	29,0	25,9	19,8	13,7	11,8	10,1	9,8	9,7
Міцність на стиск, МПа Y_2	10,7	12,8	13,7	14,8	16,1	17,2	16,8	15,5
Морозостійкість, цикли Y_3	16	18	24	29	35	41	35	31

З (табл. 7) видно, що введення складових компонентів керамічної маси продукту очищення димових газів відходів виробництва мінеральної вати до 35% покращує фізико-механічні показники цегли, а подальше збільшення його вмісту призводить до зниження показників.

Для виявлення впливу вмісту «Королька» на фізико-механічні показники керамічної цегли були досліджені складові компоненти які наведено в (табл. 8).

Складові компоненти керамічних мас

Компоненти	Вміст компонентів, %							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Бентонітова глина	100	85	80	75	70	65	60	55
«Корольок»	0	20	25	30	35	40	45	50

Складові компоненти керамічних матеріалів готувалися пластичним способом при вологості шихти 20-25%. Оформлені зразки, що були висушені до залишкової вологості не більше 7-8%, обпікалися при температурі 1050 °С. «Корольок» має підвищений вміст оксиду кальцію ($\text{CaO} = 23,6\%$). CaO , незважаючи на високу температуру плавлення, він є сильним плавнем внаслідок утворення з Al_2O_3 і SiO_2 порівняно легкоплавких з'єднань, але при температурі вище 1000 °С.

При дослідженні залежності між вмістом «Королька» і основними механічними характеристиками (морозостійкість і механічна міцність) цегли використовується досить поширений метод лінійної регресії.

Визначальним фактором якості цегли є єдиний показник – відсотковий вміст «Королька» керамічної маси. Експеримент складається з 8 дослідів. У першому досліді незалежна змінна X приймала мінімальне значення, яке рівне 0%. В кожному наступному досліді вміст «Королька» збільшували, а в останньому досліді X прийняла максимальне значення, рівне 50% (табл. 8).

Залежність морозостійкості і механічної міцності керамічної цегли від вмісту «Королька» представлена в (табл. 9).

Таблиця 9

Залежність морозостійкості і механічної міцності керамічної цегли від вмісту «Королька»

Компоненти	Вміст компонентів, %							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Вміст «королька»	0	20	25	30	35	40	45	50
Морозостійкість, цикли (Y_1)	67	85	91	103	105	108	98	82
Механічна міцність на стиск, МПа (Y_2)	17,3	19,3	20,9	22,7	23,8	24,8	21,4	18,9

Аналіз експериментальних даних показує, що залежність параметрів Y_1 , Y_2 від X носить явно нелінійний характер. При збільшенні вмісту в керамічній масі «Королька» приблизно до 35% спостерігається зростання значень параметрів Y_1 , Y_2 . Подальше збільшення його вмісту призводить до зниження цих показників. Це пояснюється тим, що при збільшенні кількості «Королька» в масі зростає також вміст оксиду кальцію, який значно інтенсифікує кристалізацію анортиту, а зазначений процес перешкоджає спіканню.

Графіки залежності показників цегли Y_1 , Y_2 від X мають вигляд, представлений на (рис. 5).

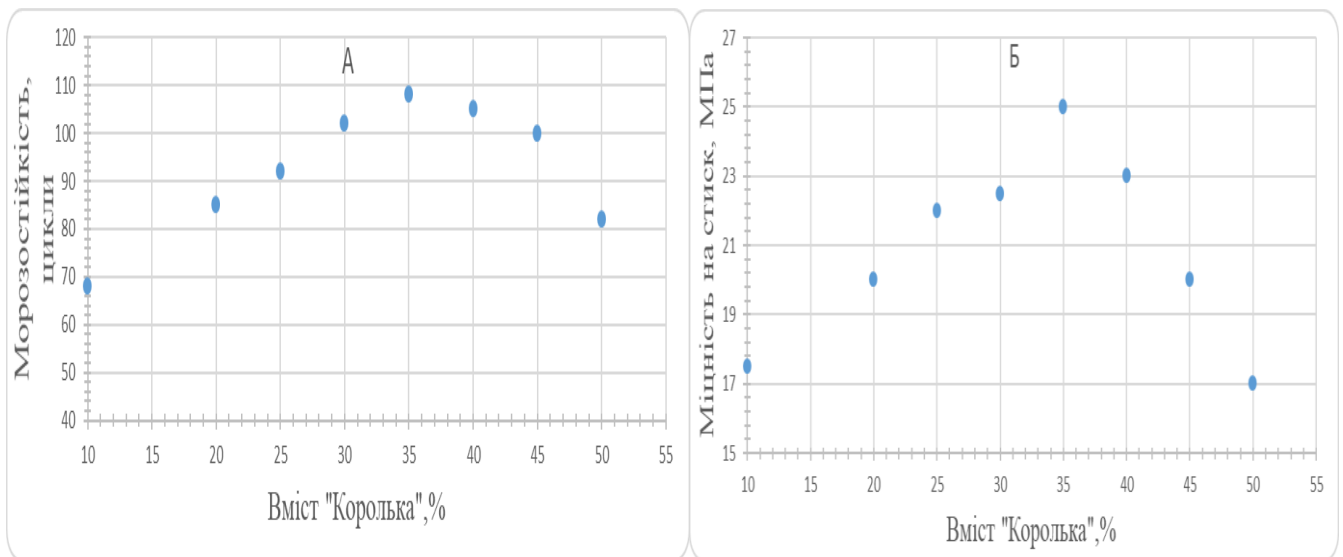


Рисунок 5 – Вид експериментальної залежності морозостійкості і механічної міцності цегли від змісту «Королька»: а - морозостійкість; б – механічна міцність на стиск

Для кожної із залежностей Y_1 , Y_2 були визначені значення параметрів (за допомогою методу найменших квадратів), знайдений коефіцієнт R^2 , а також обчислені і побудовані 95% довірчі інтервали. Значення параметрів показані в (табл. 10), а на (рис. 6) представлені модельні функції з довірчими інтервалами.

Таблиця 10

Значення параметрів функцій Y_1 , Y_2 і коефіцієнта R^2

Параметр	$Y_1(X)$	$Y_2(X)$
a	67,15954	17,35496
b	-0,03945	-0,06062
c	-1,22678	-0,93299
d	0,00060	0,00113
e	0,00815	0,01704
R^2	0,992	0,992

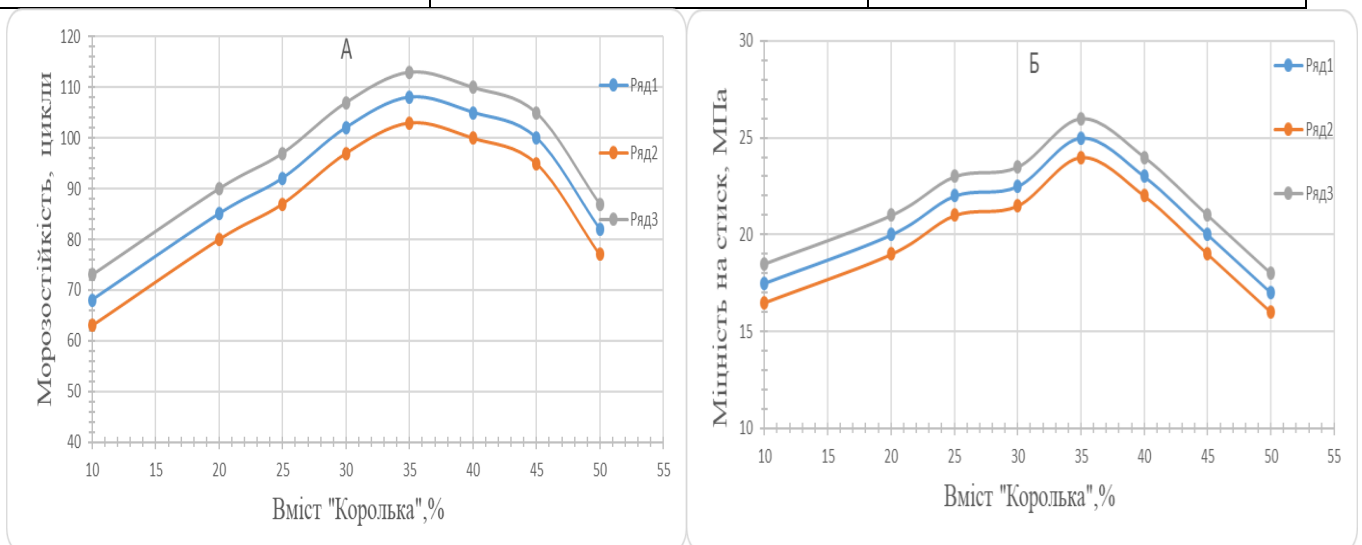


Рисунок 6 – Графік залежності морозостійкості і механічної міцності на стиск від змісту «Королька» (формула 3.5): а - морозостійкість; б - механічна міцність; 2 - експериментальні дані; 1 - модель +95% довірчого інтервалу; 3 - модель -95% довірчого інтервалу.

Таким чином, в результаті проведеного дослідження було встановлено, що показники керамічної цегли Y_1, Y_2 нелінійно залежать від вмісту в складі «Королька», обидві залежності мають якісно подібний характер.

У четвертому розділі запропонована ресурсозберігаюча технологія виробництва керамічної цегли та її фізико-хімічні процеси

З огляду на те, що найбільше вмісту органічних речовин в продукті очищення димових газів ВВР мінвати (в.п.п. = 19,3%), термічному дослідженню піддавалася цегла з оптимальних складових компонентів: Бентонітова глина – 65%, продукт очищення димових газів ВВР мінвати – 35%. Для порівняння досліджувалися керамічні зразки складових компонентів, наведених у (табл. 11).

Таблиця 11

Склад керамічних мас

Компонент	Вміст компонентів, мас %		
	1	2	3
Бентонітова глина	100	65	0
Продукт очищення димових газів ВВР мінвати	0	35	98
ССБ (сульфітно-спиртова барда)	0	0	2

Аналіз отриманих диференціальних кривих нагрівання і втрати маси показав, що досліджувані зразки складу 1 мають п'ять ендотермічних і один екзотермічний ефект відповідно при температурах 140, 280, 425, 580, 820 та 950°C (рис. 6, крива 1).

На термограмі ендотермічний ефект, властивий каолініту, з максимумом 580 °C та ефект монтморилоніта (бентоніт відноситься до групи монтморилоніту) - 140 °C (рис. 6, крива 1).

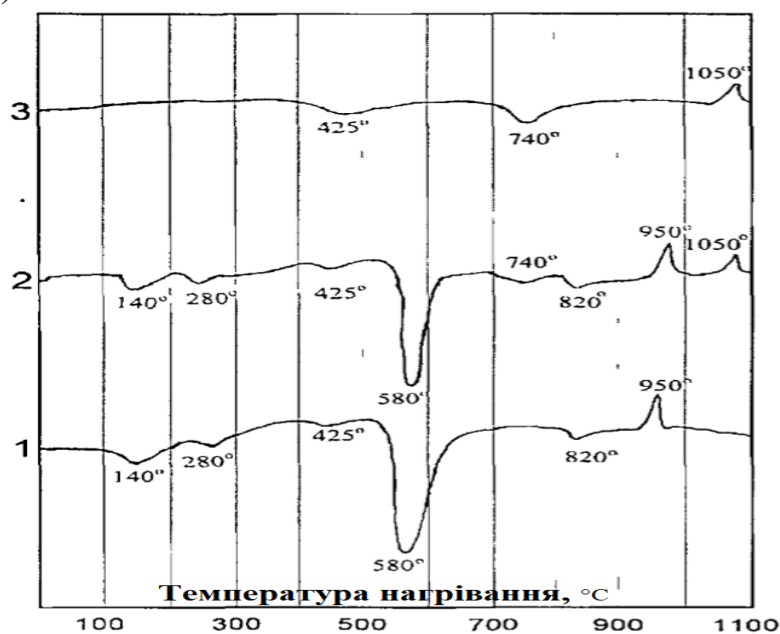


Рисунок 6 – Диференціальні криві нагрівання складових компонентів 1-3.

Перший негативний ефект на диференціальній кривій при температурах 130-140 °C також показує випаровування з глинистого мінералу адсорбційно-зв'язаної води. В інтервалі 550-580 °C відзначається другий негативний ефект, який

відповідає відокремленню і видаленню з глинистого мінералу хімічно пов'язаної (гідратної) води.

Ендотермічний ефект з максимумом при температурі 425 °С пояснюється процесами окислення і згорання органічних домішок (вміст гумусових речовин в бентонітовій глині 1,5-2,0%), а з ендотермічним максимумом при 820 °С пов'язана дисоціація кальциту. Екзотермічний ефект при 950 °С відповідає процесам виникнення новоутворень, що з'являються при цій температурі в бентонітовій глині.

На диференціальних кривих нагрівання продукту очищення димових газів ВВР мінвати (рис. 6, крива 3) близько 425 °С де ендотермічний ефект, пов'язаний з вигоранням органіки і добавки ССБ. Очевидно, це пов'язано з тим, що вміст незгорілих частинок в продукті очищення димових газів ВВР мінвати становить 19,3%. При температурі 740 °С спостерігається відносна інтенсифікація процесів вигорання органіки, що пояснюється прискоренням переміщення зони горіння всередину зразка з початком вторинної реакції:



При цьому тепловий потік спрямований з центру до поверхні ($t_n < t_{nc}$).

На диференціальних кривих нагрівання зразків складу 2 спостерігаються теплові ефекти, характерні для складу 1, але при цьому відбувається накладення теплових ефектів. На диференціальних кривих нагрівання зразка складу 2 при температурах 700-800 °С різко спотворюється ендотермічний ефект, пов'язаний з вигоранням органіки. Накладення цих процесів за кінетикою масообміну відбувається за рахунок вмісту в складі продукту очищення димових газів відходів виробництва мінеральної вати органіки. Показання диференціальних кривих нагрівання щодо механізму горіння вуглецю в тілі (поступове поглиблення зони горіння всередину зразка) підтверджуються при огляді і порівнянні обпалених зразків в поперечному розрізі.

У складі 2 на термограмі (рис. 6, крива 2) при температурах 100-140 °С спостерігається незначний ендотермічний ефект, пов'язаний з видаленням гігроскопічної води. При температурах 425 - 600 °С на термограмі суміші фіксується великий екзотермічний ефект, пов'язаний з видаленням хімічно зв'язаної води. З горінням коксових і напівкокових залишків, що містяться в продукті очищення димових газів ВВР мінвати, пов'язаний ендоефект при температурі 740 °С. Ці особливості сумішей, відмічені на термограмі, що сприяють інтенсифікації процесів при випалюванні.

Найбільш складні умови випалу зразків - в інтервалі температур 960-1050°С. У цьому інтервалі температур починається інтенсивне ущільнення черепка, з'являється рідка фаза та муліт

Таким чином, термічні дослідження дозволяють регулювати процес випалювання керамічних матеріалів із застосуванням техногенної сировини і визначати його раціональні режими з урахуванням ендотермічного і екзотермічного ефектів в інтервалі температур фізико-хімічних перетворень.

Для отримання керамічної цегли з використанням відходів виробництва мінеральної вати застосовувалася ресурсозберігаюча технологія, представлена на (рис. 7).

Відходи мінеральної вати

Бентонітова глина

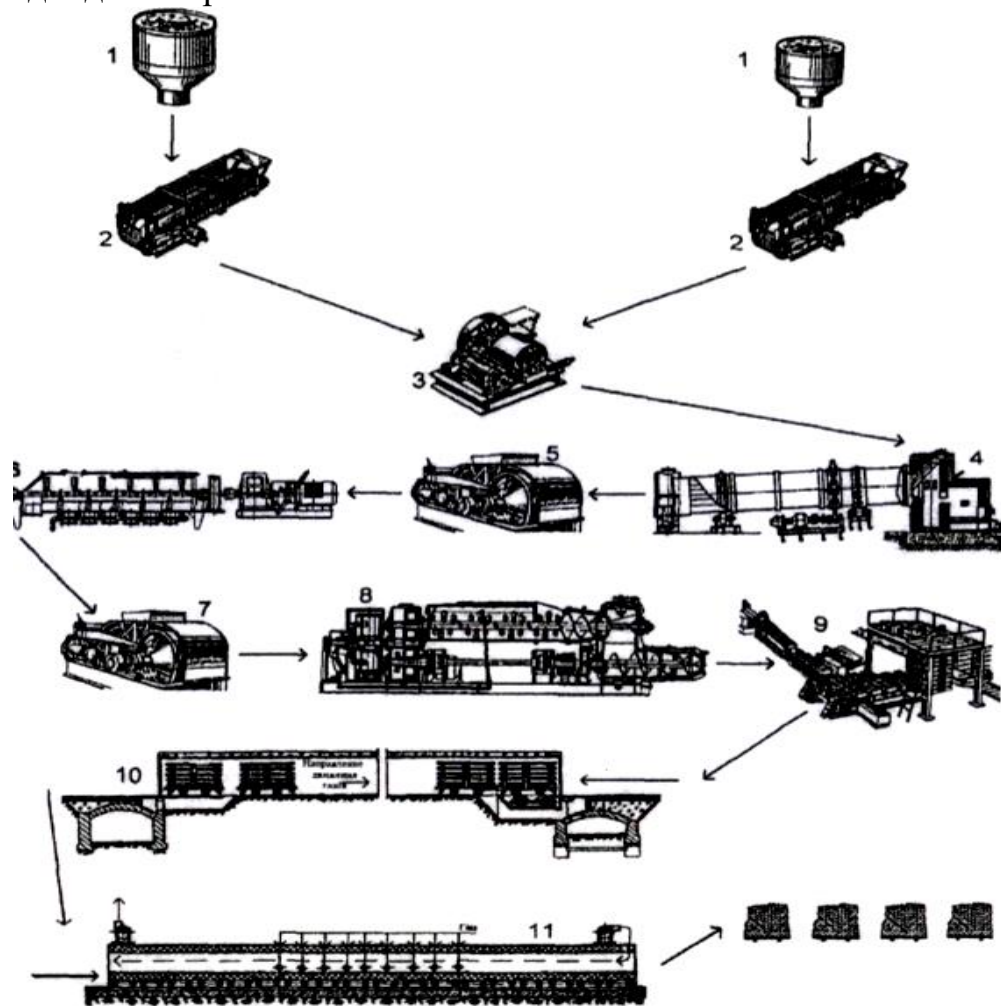


Рисунок 7 – Технологія виробництва керамічної цегли з додаванням мінеральної вати: 1 - бункер; 2 - ящиківий підживлювач; 3 - вальці грубого помолу; 4 - сушильний барабан; 5 - вальці середнього помолу; 6 - глинозмішувач; 7 - вальці тонкого помолу; 8 - прес з вакуум-камерою; 9 - автомат-укладальник; 10 - тунельна сушарка; 11 - тунельна піч

Глиняну масу, видобуту в кар'єрі, роблять однорідною шляхом її перевалки в відкриті глинозапасники (рис. 8 А) або в стаціонарні глинозапасники закритого типу (рис. 8 Б) .

А

Б

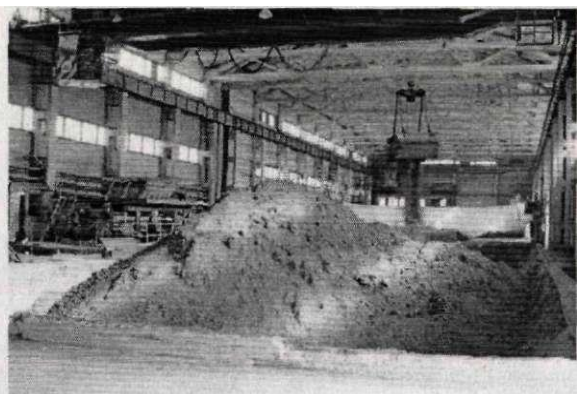
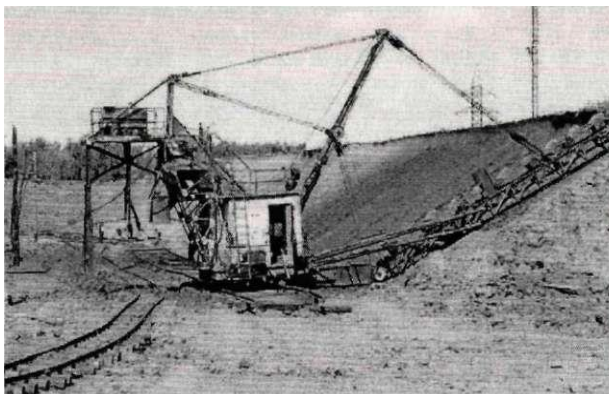


Рисунок 8 – Перевалка глини: А - у відкритому глинозапаснику; Б - в стаціонарному запаснику закритого типу

Однорідність сирцю, що сформований з глини, витриманого в глинозапаснику – підвищується, а міцність виробів збільшується на 10-15% в порівнянні з виробами, глина для виготовлення яких взята безпосередньо відразу з кар'єру.

Із запасників бентонітова глина і відходи мінеральної вати грейферним краном завантажуються в приймальні бункера, звідки вони надходять в ящиківі живильники, де компоненти дозуються в певних співвідношеннях. Потім шихта по транспортерній стрічці надходить для дроблення в вальці грубого помелу (рис. 7). Для відходів виробництва мінеральної вати вальці грубого і середнього помелу можна виключити з технологічної схеми, але додатковим спільним перемішуванням компонентів досягається оптимальна однорідність шихти і поліпшується якість готової продукції.

Створення єдиної класифікації пор і пористості для різних пористих матеріалів і середовищ пов'язані зі значними труднощами, а загальноприйнятої класифікації до теперішнього часу для керамічних матеріалів немає.

Великий роздріб в розмірах небезпечних і безпечних пір, обумовлений не тільки методичними особливостями дослідження пористо-капілярної структури, а й видами керамічних матеріалів.

Завдання - за допомогою ртутної порометрії, методу дифузного малоуглового розсіювання рентгенівських променів і електронної мікроскопії встановити вплив відходів виробництва мінеральної вати на структуру пористості та розподіл пор в залежності від їх розмірів в керамічних композиційних матеріалах на основі бентонітової глини.

Дослідження структури пористості проводили на кубиках з розміром ребра 0,02 м, виготовлених методом пластичного формування з формувальною вологістю 20%. Висушені зразки до вологості 7-8% обпалювали в лабораторній печі при температурах 950 і 1050 °С (температура випалу керамічної цегли та плиток). Ізотермічна витримка при максимальній температурі - 30 хв.

Вивчення структури пористості керамічної цегли здійснювалося на компонентах, наведених у (табл. 12).

Таблиця 12

Склад керамічних мас

Компонент	Вміст компонентів, мас %		
	1	2	3
Бентонітова глина	100	65	65
«Корольок»	-	35	-
Продукт очищення димових газів ВВР мінвати	-	-	35

Про вплив кількості склофази на показники морозостійкості керамічних виробів в літературі небагато відомостей. Існують суперечливі дані щодо впливу склофази на морозостійкість керамічної цегли.

Залежність морозостійкості цегли від його фазового складу приведена в (табл.13).

Залежність морозостійкості цегли від його фазового складу

№ Складу	Вміст основних фаз, %					Морозостійкість
	Склофаза	Кварц	Кристобаліт	Муліт	Гематит	
Температура випалу 950 °С						
1	10-15	30-40	10-12	-	5-7	29
2	15-20	30-40	8-10	3-5	3-5	45
Температура випалу 1050 °С						
1	25-30	25-30	15-20	-	9-12	32
2	30-35	25-30	12-15	5-8	7-9	58

Як видно з (табл. 13), вміст склофази в зразку 2 складового компоненту більше, ніж в зразках 1-го; відповідно і морозостійкість у них вища. Крім того, в зразках 1-го складового компоненту утворюється більше кристобаліту, який розпушує керамічний черепок внаслідок збільшення його в обсязі. Введення в керамічні маси продукту очищення димових газів ВВР мінвати знижує вміст кристобаліта.

Вивчення мікроструктури досліджуваних зразків під мікроскопом МІМ-8 показало, що зразки 2-го складового компоненту, обпалені при температурі 950°С, після 45 циклів заморожування і відтавання мали мікротріщини розміром від $2,5 \cdot 10^{-5}$ до $10 \cdot 10^{-5}$ м, розташовані паралельно площині керамічної цегли, а при температурі випалу 1050 °С аналогічні тріщини з'явилися після 58 циклів.

Таким чином, проведені дослідження показали, що фазовий склад впливає на морозостійкість керамічної цегли.

ВИСНОВКИ

1. Виявлено, що основним глинистим мінералом в легкоплавкій глині Дашуківського родовища Черкаської області є бентоніт, що відноситься до групи монтморилоніту.

2. Проведені дослідження показали, що бентонітова глина Дашуківського родовища за числом пластичності і сполучними властивостями може бути використана як основний глинистий компонент для виробництва цегли.

3. В результаті досліджень виявлено, що додавання до складу керамічної шихти до 40% «Королька» сприяє збільшенню однорідності, покращенню рівноваги та сушільних властивостей шихти, знижує схильності до пластичного руйнування при формуванні виробів. Подальше збільшення в шихті вмісту «Королька» призводить до зменшення розтягування.

4. В результаті проведених досліджень встановлено, що водопоглинання, механічна міцність і морозостійкість нелінійно залежать від вмісту в складі керамічної маси продукту очищення димових газів ВВР мінвати. Для опису залежностей водопоглинання і морозостійкості використовувалася модель

$$Y(X) = \frac{a+cX+eX^2}{1+bX+dX^2}$$
. Для опису залежності міцності від вмісту продукту очищення

димових газів ВВР мінвати використовувалася модель $Y(X) = \frac{a+cX}{1+bX+dX^2}$. Знайдені моделі достовірно описують експеримент і мають досить простий вигляд.

СПИСОК ДРУКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ДОПОВІДІ КОНФЕРЕНЦІЯХ

АНОТАЦІЯ

Захарченко Б. В. Ресурсозберігаюча технологія виробництва керамічної цегли з додаванням відходів мінеральної вати – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня магістра за спеціальністю 101 – Екологія. – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» МОН України. – Київ, 2018.

Дисертацію присвячено розробці теоретичних і практичних основ технології високоефективної цегли з бентонітової глини із застосуванням відходів мінераловатного виробництва, які забезпечують утилізацію техногенної сировини і підвищення фізико-механічних показників керамічної цегли.

Для наукового дослідження вмісту і будови відходів виробництва мінеральної вати, глинистих матеріалів і їх керамічних сумішей необхідно застосувати декілька фізичних і фізико-хімічних методів аналізу.

Виробництво керамічної цегли - це складний процес, тому раціональне використання палива, сировини та інших матеріальних ресурсів стає вирішальним фактором його успішного розвитку в умовах економічної кризи. Особливої актуальності набуває в зв'язку з цим застосування у виробництві керамічної цегли техногенних відходів, фізико-хімічні процеси яких істотно відрізняються від аналогічних процесів, що відбуваються при використанні традиційних природних матеріалів. Ці відмінності пов'язані зі складними хіміко-мінералогічним властивостями техногенної сировини.

Практичне значення роботи полягає в розробленні складу керамічної маси для виробництва керамічної цегли на основі бентонітової глини із застосуванням в якості обезвожувача і інтенсифікатора спікання відходів виробництва мінеральної вати.

Ключові слова: глина, цегла, кераміка, виробництво, мінеральна вата, родовище, будівництво, ресурсозбереження, бентоніт.

АННОТАЦІЯ

Захарченко Б. В. Ресурсосберегающие технологии производства керамического кирпича с добавлением отходов минеральной ваты - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени магистра по специальности 101 - Экология. - Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» МОН Украины. - Киев, 2018.

Диссертация посвящена разработке теоретических и практических основ технологии высокоэффективной кирпича из бентонитовой глины с применением отходов минераловатного производства, которые обеспечивают утилизацию техногенного сырья и повышения физико-механических показателей керамического кирпича.

Для научного исследования содержания и строения отходов производства минеральной ваты, глинистых материалов и их керамических смесей необходимо применить несколько физических и физико-химических методов анализа

Производство керамического кирпича - это сложный процесс, поэтому рациональное использование топлива, сырья и других материальных ресурсов становится решающим фактором его успешного развития в условиях экономического кризиса. Особую актуальность приобретает в связи с этим применение в производстве керамического кирпича техногенных отходов, физико-химические процессы которых существенно отличаются от аналогичных процессов, происходящих при использовании традиционных природных материалов. Эти различия связаны со сложными химико-минералогическим свойствам техногенного сырья.

Практическое значение работы состоит в разработке состава керамической массы для производства керамического кирпича на основе бентонитовой глины с применением в качестве обезвоживающего и интенсификатора спекания отходов производства минеральной ваты.

Ключевые слова: глина, кирпич, керамика, производство, минеральная вата, месторождение, строительство, ресурсосбережения, бентонит.

ABSTRACT

Zakharchenko BV Resource-saving technology for the production of ceramic bricks with the addition of mineral wool waste - Manuscript.

Thesis for a Master's degree in specialty 101 - Ecology. - National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky" Ministry of Education and Science of Ukraine. - Kyiv, 2018.

The dissertation is devoted to the development of theoretical and practical bases of technology of high-performance bricks from bentonite clay with the use of mineral wool waste, which ensure the utilization of man-made raw materials and increase the physical and mechanical parameters of ceramic bricks.

For scientific research on the content and structure of waste from the production of mineral wool, clay materials and ceramic mixtures, several physical and physico-chemical methods of analysis should be applied.

The production of ceramic bricks is a complex process, therefore the rational use of fuel, raw materials and other material resources is becoming a decisive factor for its successful development in the conditions of the economic crisis. Particularly relevant in this connection is the application in the production of ceramic bricks of man-made waste, physical and chemical processes which significantly differ from similar processes

occurring when using traditional natural materials. These differences are related to complex chemical and mineralogical properties of man-made raw materials.

The practical value of the work is to develop the composition of ceramic mass for the production of ceramic bricks on the basis of bentonite clay with the use of dewatering and intensifying the sintering of waste from the production of mineral wool.

Key words: clay, brick, ceramics, production, mineral wool, deposit, construction, resource saving, bentonite.