

**О. В. Березюк**  
**М. С. Лемешев**  
**К. К. Сівак**  
**М. Ю. Стаднійчук**  
**Р. В. Сівак**

## **ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОГЕННОЇ СИРОВИНИ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ КОМПОЗИЦІЙНИХ В'ЯЖУЧИХ**

Вінницький національний технічний університет

*Загострення економічної та екологічної ситуації в Україні викликає необхідність розробки нових ефективних технологій переробки та використання промислових техногенних відходів теплоенергетики та хімічної промисловості. Такі технології повинні забезпечити максимальну їх ступінь використання при виробництві якісних ефективних будівельних виробів. Вибір технології підготовки, переробки та використання промислових відходів залежить від їх хімічного, мінералогічного, гранулометричного складу та способу отримання. Незважаючи на те що такі відходи використовуються здебільшого як інертні наповнювачі, загальний об'єм їх використання залишається низьким. Частка їх використання при виготовленні будівельних виробів складає 5-12 %, в той же час виготовлення будівельних виробів вимагає додаткових енерговитрат.*

*Багато відходів промисловості та міського господарства, що становлять великий практичний інтерес, залишаються недостатньо затребуваними з різних причин. У цьому плані популяризація можливих напрямів застосування промислових відходів і досягаємого при цьому ефекту має важливе значення. Однією з основних галузей комплексного використання відходів є галузь будівельних матеріалів, де ця сировина може виступати як основа для створення нових високоефективних матеріалів. Прогнозування властивостей таких матеріалів досить складне завдання, вирішення якого може бути досягнуто за рахунок формування системного підходу до визначення показників якості, а також прогнозування та регулювання властивостей матеріалів залежно від цілей та завдань, які вирішують будівельники та технологи при виготовленні будівельних виробів.*

**Ключові слова:** промислові відходи; будівельні матеріали; комплексне в'язуче.

### **Вступ**

Сучасний рівень розвитку промислового виробництва використовує величезні мінерально-сировинні та енергетичні ресурси, з яких менш ніж десята частина використовується як корисний продукт, а решта складається у вигляді відходів на полігонах та сховищах [1-2]. З ростом обсягів виробництва зростають розміри промислових звалищ, у зв'язку з чим на кожному підприємстві необхідно здійснювати контроль кількості та якості відходів, співвідношення їх з кількістю та якістю продукції, що випускається, а також проводити вдосконалення виробництва з метою зниження утворення відходів [3-4]. Багато відходів промисловості та міського господарства, які мають великий практичний інтерес, залишаються недостатньо затребуваними з різних причин. У цьому плані популяризація можливих напрямів застосування відходів та досягаємого при цьому ефекту має важливе значення [5].

Сировинна база України є достатньо різноманітною, при цьому її розподіл на всій території, як правило, нерівномірний. Так, наприклад, зосередження в окремих регіонах характерне для певних гірських порід, що використовуються для виробництва будівельних матеріалів: бокситів – для виробництва цементів; вогнетривких глин – для порцеляни, фаянсу; чистих вапняків – для портландцементу; глин котрі добре спучуються – для керамзитового гравію; щільних та міцних осадових та магматичних гірських порід – для щебеню. Відносно рівномірно розподілені будівельні піски, легкоплавкі глини та суглинки.

Комплексного підходу до використання природної мінеральної сировини сьогодні немає, і можливості місцевої сировинної бази реалізуються недостатньо [6]. У той же час у регіонах з розвиненим промисловим потенціалом утворюється величезна кількість промислових відходів, джерелом яких є підприємства хімії, нафтохімії, нафтопереробки, енергетики, металургії та інші. Такі підприємства відраховують значні кошти на зберігання таких відходів [7]. З накопиченням промислових відходів порушується екологічна рівновага, що фіксується екологічними службами та проявляється у різкому забрудненні навколишнього середовища [8]. У зв'язку з цим земельним комісіям доводиться відводити ділянки для зберігання відходів, які з більшою ефективністю могли б бути використані у містобудуванні чи сільському господарстві. Утворення відходів відбувається на всіх стадіях руху сировини: від моменту її видобутку, коли вона ще є природним ресурсом, до

завершення експлуатації виробленого з неї виробу.

В Україні щорічно утворюється до 10 млн. тон золошлакових відходів, а у відвалах накопичено понад 50 млн. тон, такі відходи слід розглядати не тільки як фактор забруднення навколишнього середовища, але й як джерело додаткових ресурсів при отриманні широкої гами будівельних матеріалів. Тільки у Вінницькій області на Ладижинській ТЕС накопичено біля 20700 тис. тон золошлакових відходів, на території колишнього ВО "Хімпром" зберігається близько 800 тис. тон фосфогіпсів. На підприємствах металообробних виробництв регіону накопичено близько 300 тис. тон дисперсних металевих відходів.

### Постановка задач досліджень і шляхи їх вирішення

**Мета роботи** – дослідити сучасний стан використання техногенних відходів в будівельній галузі та запропонувати нові підходи використання відходів теплоенергетичних та хімічних підприємств для отримання сучасних будівельних матеріалів та виробів, які за своїми властивостями не поступаються традиційним, але є ефективнішими з екологічної та економічної точок зору.

В даний час у світі виробляється близько 3 мільярдів тонн в'язучих речовин, основна частка яких припадає на портландцемент. При цьому на його виробництво витрачається близько 400 млн тонн умовного палива, а викиди в навколишнє середовище CO<sub>2</sub> і пилу становлять близько 2,5 млрд тонн (табл. 1) [9]. У зв'язку з чим в останні роки спостерігається переорієнтація промисловості будівельних матеріалів на бетони з зниженою витратою цементу. У США та Європі до таких видів бетонів відносять бетони, в яких витрата цементу знижена на 50 – 60 %. Досягається це, в основному, за рахунок використання змішаних в'язучих, у яких частина цементу замінена золошлаками або мікрокремнезем.

Таблиця 1

#### Показники виробництва в'язучих речовин

№	Вид в'язучого	Обсяг виробництва у світі. млн. т	Енергоємність кг.у.п.		Екологія			
			На виробництво 1 т.	всього млн.т.у.п	CO <sub>2</sub>		пил	
					кг/ т	всього млн. т	кг/ т	всього, млн т
1	Портландцемент	2540	150	381	850	2159	21	53,34
2	Вапно	286	204	58,34	528	151	5	1,43
3	Гіпс	112	47	5,264				
Разом:		2938		444,6		2310		54,77

Згідно із сучасними світовими тенденціями все більшого значення набувають композиційні в'язучі (композиційні цементи, в'язучі на основі промислових відходів), які необхідно розглядати як альтернативу традиційним в'язучим, причому найбільшу увагу привертають в'язучі системи, що містять у своєму складі обмежену кількість клінкеру [10].

Резерви ресурсозбереження при комплексній переробці сировини та використанні відходів дуже значні. Капітальні вкладення, необхідні для переробки вторинної сировини, приблизно вчетверо менше, ніж при отриманні продукції з первинної сировини [11]. Очевидно, що слід вкладати кошти в безвідходні технологічні процеси, які зберігають сировинні та енергетичні ресурси і водночас забезпечують високу якість продукції [12].

З галузей, які споживають промислові відходи, найбільш ємною є промисловість будівельних матеріалів, частка сировини якої у собівартості продукції сягає 50 % і більше. Багато відходів за своїм складом та властивостями близькі до природної сировини [13]. Встановлено, що використання промислових відходів дозволяє покрити до 40 % потреби будівництва у сировинних ресурсах, а також на 10–30 % знизити витрати на виготовлення будівельних матеріалів порівняно з виробництвом їх із природної сировини. Крім того, із промислових відходів можна отримати нові будівельні матеріали з високими техніко-економічними показниками [14, 15].

### Результати досліджень

Накопичений науковий та практичний досвід використання відходів промисловості в Україні та за кордоном дозволяє розцінювати їх як цінну сировину для виробництва будівельних матеріалів [16]. Усі відходи діляться на дві великі групи мінеральні та органічні, перевагу мають перші, так як їх більше, вони краще вивчені та мають велике значення для виробництва будівельних матеріалів.

Під час розробки підходу до вибору економічно доцільних напрямів утилізації промислових відходів у виробництві будівельних матеріалів необхідно враховувати : вихідний стан (хімічна активність, дисперсність та агрегатний стан); вибір технології з мінімальною підготовкою та переробкою [17,18]. При цьому слід зазначити, що напрямок утилізації вибирається та обґрунтовується технологіями, а завдання доведення до кондиції та дотримання правил зберігання мають бути покладені на екологічні та санітарні служби. Основними параметрами, що характеризують будь-які промислові відходи, є: – хіміко-мінералогічний склад; агрегатний стан; та їх обсяг. Для вибору напрямку використання відходів кожен його вид має пройти кілька рівнів оцінки за різними критеріями з урахуванням основних параметрів [19].

Як показує практика, з відходів або відходів у комбінації з природною мінеральною сировиною можуть бути виготовлені практично всі основні будівельні матеріали [20-21]. З великотоннажних відходів енергетики та хімічних підприємств (фосфогіпс, титаногіпс, фторгіпс, цитрогіпс, десульфогіпс) можна виготовляти практично всі будівельні матеріали, вироби та конструкції, що використовуються при зведенні житлових та промислових будівель, сільськогосподарських об'єктів, дорожніх споруд тощо. Тому, узятий сьогодні в Україні орієнтир на виробництво будівельних матеріалів, виробів та конструкцій з відходів промисловості та місцевих матеріалів обіцяє вагомий вигоди [22].

Аналіз наукових досліджень і практичний досвід використання золошлакових відходів, вказує на економічну доцільність використання відходів ТЕС при виробництві цементу та комплексного багатокомпонентного в'язучого. Кількість SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO суттєво впливає на основні фізико-хімічні властивості будівельних виробів. В результаті проведених досліджень встановлено, що для покращення фізико-хімічних і фізико-механічних характеристик будівельних виробів найбільш доцільно використовувати золу-винос Ладижинської ТЕС [23]. Вона за хімічним складом відноситься до основних зол, що позитивно впливатиме на процеси структуроутворення. В таблиці 2 приведено хімічний склад золи винос Ладижинської ТЕС.

Таблиця 2

**Хімічний склад золи-винос Ладижинської ТЕС**

Вміст оксидів	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	П.П.
Золошлаки Ладижинської ТЕС	49,26	23,00	19,35	3,53	1,79	2,11	0,40	0,10	1,40
Зола-винос Ладижинської ТЕС	52,1	23,1	15,6	3,16	1,08	0,4	1,2	0,57	0,7

Необхідно враховувати, що надмірна кількість золи в складі золовмісних матеріалів призводить до підвищення пористості та зниження швидкості набору міцності в часі, погіршує експлуатаційні характеристики, зокрема морозо- та корозійну стійкість. Для запобігання виникнення таких небажаних процесів, до складу бетонної суміші вводять комплексні добавки поліфункціональної дії, які визначають не тільки кінетику набору міцності, але й формують відповідну структуру матеріалу, що суттєво впливає на фізико-механічні властивості та довговічність отриманого штучного каменю [24].

Кількість золи, що використовується в складі комплексного в'язучого бетонної суміші, може бути збільшена за рахунок її активації. Вибір способу активації залежить від хіміко-мінералогічного складу золи, способу її отримання, а також від складу в'язучої системи. Оскільки зола виконує декілька функцій при введенні до складу бетонної суміші, то її кількість може бути підвищена як за рахунок використання різних видів активації, так і за рахунок поліфункціональності. Причому введення золи не тільки до складу в'язучої речовини, але і як мікронаповнювача та дрібного заповнювача, буде сприяти утворенню більш міцної контактної зони. Авторами в роботах [14, 25-27] встановлено взаємозв'язок між видами паливних зол і шлаків, способами їх активації та можливостями їх використання в складі будівельних матеріалів і виробів. В таблиці 3 приведено різні найменування відходів теплоенергетики, спосіб їх активації та рекомендована сфера використання в складі будівельних матеріалів і виробів.

**Взаємозв'язок між видами паливних зол і шлаків, способами їх активації та можливостями їх використання в складі будівельних матеріалів і виробів [14]**

Найменування відходів теплоенергетики	Вид активації	Будівельні матеріали і вироби	Сфера використання
Золи-винесення	хімічна (лужноземельна)	в'язучі речовини, модифіковані пластифікуючими добавками з вмістом золи до 35 мас.%	товарні бетонні суміші
	механохімічна (лужна + механічна активація в швидкісному змішувачі)	в'язучі речовини та бетони на їх основі, в тому числі з покращеними теплофізичними властивостями, що вміщують до 60 мас.% золи	тришарові керамзитобетонні стінові панелі
	механохімічна (лужна + помел)	ефективні в'язучі речовини (з вмістом золи до 60 мас.%) та бетони на їх основі	бетони для конструкцій нульового циклу
Золи гідровидалення	механохімічна (лужна + помел)	ефективні в'язучі речовини (з вмістом золи до 60 мас.%) та бетони на їх основі	одношарові покриття доріг III та IV категорії
	механохімічна («чиста» сульфатна + помел)	в'язучі речовини та бетони на їх основі з вмістом золи до 65 мас.%	бетони для конструкцій нульового циклу
Флюїдальні золи	механохімічна (сульфатна + помел)	в'язучі речовини та бетони на їх основі, що містять до 85 мас.% відходів	одношарові покриття доріг III та IV категорії

Можливості використання золи винос в складі в'язучої системи визначається пуцолановою активністю, яка забезпечує стабільність властивостей штучного каменю в часі. Пуцоланова активність залежить від багатьох чинників, з яких найважливішими є хімічний склад, мінералогічний склад та питома поверхня. В результаті проведених досліджень автори в своїх роботах [14, 28-30] прийшли до такого висновку:

- ефективність використання золи в складі цементно-піщаних композицій, які підлягають тепловологій обробці (ТВО), вища не тільки за кількісними, але й за якісними показниками, коефіцієнт пуцолановості золи в складі досліджуваних систем після ТВО в 2-2,5 рази більший в порівнянні зі зразками, що твердіють в нормальних умовах;
- оптимальна кількість золи, що сприяє нарощуванню міцності цементно-піщаних композицій залежно від хіміко-мінералогічного складу та питомої поверхні становить 20-40 мас. % від кількості заповнювача. При використанні золи-винесення та флюїдальної золи, кількість пуцоланового компонента складає 35-40 мас.%, коефіцієнт пуцолановості становить більше 1,7. В разі використання золи гідровидалення показник пуцолановості дорівнює 1,3-1,7;
- флюїдальна зола та зола-винесення належать до високоактивних, а зола гідровидалення – до добавок середньої активності. При дослідженні активності відходів енергетики різного походження у вихідному стані, максимальне значення коефіцієнт пуцолановості досягається при використанні золи-винесення Ладижинської ТЕС;
- механоактивація золошлакових відходів сприяє підвищенню коефіцієнта пуцолановості на 11-37%. Найбільш помітно на цей показник впливає термоактивація (тепловолога обробка або автоклавовання);
- застосування комплексної активації золошлакових відходів частково нівелює коливання її хіміко-мінералогічного складу.

Використання механічної, хімічної та комплексної активації золошлакових відходів дозволяє виготовляти матеріали з покращеними механічними характеристиками та високими експлуатаційними властивостями, причому застосування окремих видів активації золошлакових відходів впливає на зміну фазового складу новоутворень, що може позитивно позначитися на довговічності отриманих будівельних розчинів та бетонів [14].

Автори в своїх роботах [31-32] розробили принцип композиційної побудови золонаповнених

штучних матеріалів, які дозволяють збільшити кількість золошлакового компонента в складі бетонної суміші без погіршення властивостей синтезованого штучного каменю, для цього необхідно:

- врахування складу, структури золошлакових відходів і вибір відповідного способу активації золи, що обумовлює зміну як фізичного стану, так і хімічного складу вихідної сировини;
- обов'язкове введення до складу золонаповнених в'язучих систем пластифікуючих або комплексних добавок, що містять крім пластифікуючої добавки, активну мікрокремнеземисту або алюмосилікатну складову, що попереджає утворення на пізніх стадіях твердіння вторинного еtringіту;
- вибір типу пластифікуючої добавки має здійснюватися з урахуванням хіміко-мінералогічного складу золи та модифікуючих мінеральних добавок.

Фосфогіпсові відходи є побічним продуктом при виробництві фосфорної кислоти екстракційним способом. В залежності від температурно-концентраційних умов розкладання фосфатної сировини тверда фаза сульфату кальцію може бути представлена однією з трьох форм: дигідратом, напівгідратом або ангідритом. Фосфогіпсові відходи можна віднести до гіпсової сировини, оскільки вони на 80-95% складаються з сульфату кальцію. Хімічний склад фосфогіпсу Вінницького ВО "Хімпром" наведено в таблиці 4.

Таблиця 4

**Хімічний склад фосфогіпсів ВО "Хімпром" м. Вінниця**

Основні складові	Вміст, % по масі	
	фосфогіпсогидрат	фосфогіпсопівгидрат
Загальне P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.5-1.5	1.2-1.5
Водорозчинні P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.1-0.7	0.7-2.0
CaO	22-23	25-28
SO <sub>3</sub>	38-39	45-47
F	0.1-0.2	1.2-1.5
Вода гігроскопічна	21-29	18-22
Вода кристалогідратна	19-21	5,5-6,5

Насипна густина фосфогіпсу є величина змінна і залежить від вологи, фракційного складу і ступеню ущільнення. Фосфогіпс - матеріал, який дуже легко стискається. При його стисканні проходить зменшення пористості, витіснення або переміщення вологи. Повна вологість фосфогіпсу складає приблизно 66%. Максимальна молекулярна вологість дорівнює 15-16% і характеризується властивістю фосфогіпсу утримувати вологу силами молекулярного зчеплення між частинками фосфогіпсу і води.

Широкомасштабному використанню фосфогіпсу перешкоджають його специфічні особливості: агрегатний стан, висока вологість, наявність фосфорної і сірчаної кислоти та водорозчинних шкідливих сполук фосфору і фтору.

Присутні у складі фосфогіпсу залишки вільної фосфорної і сірчаної кислоти, розчини солей – монокальційфосфату, дикальційфосфату і інші, сповільнюють тужавіння і знижують міцність цементних в'язучих [33]. Виділення фтористих газів при тепловій обробці ускладнюють технологію виробництва будівельних матеріалів. Підвищена кислотність сировинного матеріалу приводить до корозії обладнання. Новостворені сульфати натрію, калію та кальцію мають тенденцію виділятися на поверхні виробів при їх висиханні, у вигляді висолів. Тому використання неочищеного фосфогіпсу ускладнює отримання гіпсового в'язучого із задовільними механічними властивостями. Зменшити концентрацію залишків кислот можна за рахунок відмивання Попередня відмивка фосфогіпсової сировини вимагає додаткових затрат та приводить до нових видів відходів – кислих стоків, які необхідно утилізувати.

Фосфогіпс вивчався, як сировина для отримання гіпсового в'язучого, а також при виготовленні цементу як добавка для регулювання термінів тужавіння цементного тіста. Однак через те, що фосфогіпс без спеціальної підготовки (висушування та брикетування) неможливо використати з технологічної точки зору, такий спосіб утилізації знайшов використання лише в тих країнах, які не мають природного гіпсового каменю. Так в Японії, весь фосфогіпс використовується в цементній промисловості.

Теоретично безвідходна утилізація фосфогіпсу може досягатись шляхом реалізації повного термічного розкладання сульфату кальцію до CaO і SO<sub>2</sub>. SO<sub>2</sub> можна використати для отримання сірчаної кислоти, а CaO використовувати у вигляді негашеного вапна або у складі клінкеру портландцементу. Недоліком такої технології є висока температура обробки, яка становить більше 1450 °C [33-34].

Найбільш ефективним способом використання фосфогіпсу в будівництві на нашу думку є розробка та отримання безклінкерного фосфатного, металофосфатного та металозолофосфатного в'язучого. Для такого типу в'язучого не потрібно витратити значні енергетичні ресурси та виконувати попередню очистку фосфогіпса від шкідливих речовин.

Основним процесом при синтезі фосфатного в'язучого (ФВ) є розчинення у фосфорних кислотах окисних з'єднань. Регулювання цього процесу полягає у виборі концентрації кислоти, хімічного складу з'єднання, яке вміщує катіон, його оптимальної по розчинності модифікації, а також способу його введення в реакційну суміш і температурний режим синтезу. Крім того швидкість процесів взаємодії можна регулювати, змінюючи реакційну активність наповнювача ущільненням, укрупненням його частин, використовуючи дисперсії окисленого металевого наповнювача, пасивуючи компоненти які надмірно активно реагують [35].

Інтенсивність взаємодії компонентів у фосфатних системах типу "оксид – кислота" залежить від заряду катіона, іонного радіусу та електронної конфігурації. Тривалість тверднення таких систем можна регулювати, використовуючи різні з'єднання. Для забезпечення оптимального температурного режиму тієї чи іншої реакції доцільно компонувати в одній суміші різні оксиди, наприклад, CaO та FeO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO і т.п [36].

Серед залізовміщуючих дисперсних відходів які необхідно використовувати для створення металофосфатного та металозолофосфатного в'язучого - металеві шлами шарикопідшипникового виробництва та червоний бокситовий шлам.

Шлами шарикопідшипникового виробництва практично не переробляється через високу дисперсність і вміст мастильно-охолоджувальних речовин. Вони утворюється при виготовленні підшипників із сталі ШХ-15. Процентний вміст заліза складає 86,3 ÷ 87,96%. Середній розмір частинок шламу складає 2×10<sup>-5</sup> м. Питома поверхня даного порошку досягає 0,5 ÷ 2×10<sup>3</sup> м<sup>2</sup>/кг. При зберіганні шламу у відкритих відвалах відбувається глибоке окислення заліза і висихання водних складових мастильно-охолоджувальних речовин. Оксидний шар складають гематит (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), магнетит (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), юстит (розчин Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> у FeO), лапідокрит (FeO(OH)). Хімічний склад сталі ШХ-15 за результатами рентгено-флуоресцентного аналізу, виконаний в ПМ АН України приведений в таблиці 5.

Таблиця 5

**Хімічний склад шламу сталі ШХ-15 після термообробки за результатами РФА**

Види шламу	Вміст елементів %							
	C	O	Cr	Mn	Si	S	P	Fe і ін.
Шлам після обкатки	1,34	2,14	1,06	0,25	0,31	0,06	<0,03	ост.
Шлам обпилювання	1,72	3,51	0,64	0,25	0,41	0,075	<0,03	ост.

Другим важливим дисперсним залізовміщуючим відходом для створення металофосфатного та металозолофосфатного в'язучого є червоний бокситовий шлам. Бокситовий червоний шлам утворюється як побічний продукт переробки при виробництві алюмінію з бокситів. Склад шламу залежить від бокситу, що переробляється, і способу його переробки. Характерна риса бокситових шламів, отриманих способом Байєра - високий вміст оксидів заліза та алюмінію. Мінералогічний склад байєрівських шламів представлений в основному сполуками заліза: гематитом, а також гідрогранатами і гідроалюмосилікатами натрію.

Червоний шлам окремих глиноземних заводів досліджувався як добавка, що підвищує механічну міцність бетонів. Але комплексні дослідження бокситових шламів у складі металозолофосфатного в'язучого не проводилися. Високий вміст оксидів алюмінію та заліза (табл. 6) і обмежена кількість оксидів кальцію не дозволяє розглядати його як основну сировину для в'язучих. Проте його можна застосувати як активну добавку для металозолофосфатного в'язучого, враховуючи його комплексний характер впливу на фізико-механічні властивості.

Таблиця 6

**Вміст оксидів в складі червоного шламу**

Оксиди	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	в. п. п
Масова доля оксидів, %	9,5-11,1	4,4-5,6	17,0-19,0	39,0-43,0	7,6-9,5	6,2-6,9	0,2-0,3	0,2-0,25	7,9-10,5

Одним з основних шляхів утилізації червоного шламу в сфері будівельного виробництва є використання його як залізо-глиноземистий компонент сировинної суміші при виготовленні портландцементного клінкеру. В своїх дослідженнях автори встановили, що сировинні суміші, що містять червоний шлам, відрізняються високою реактивною здатністю при випалюванні, особливо в межах температур, що відповідають проходженню реакцій у твердій фазі. Оксид заліза і луги, що знаходяться в шламі, знижують температуру появи рідкої фази, що сприятливо впливає на реакційну здатність оксиду кальцію при випалюванні клінкеру. Сировина, що містить червоний шлам, не схильна до розшарування і має підвищену рухливість при зниженій вологості [37].

З врахуванням вище наведеного теоретичного обґрунтування використання зола шламових відходів, фосфогіпсу, металевих шламів, авторами отримано удосконалене комплексне безклінкерне металозолофосфатне в'язуче на основі фосфогіпсових відходів, металевих шламів підшипникового виробництва, бокситових шламів та золи-виносу. В таблиці 7 приведені фізико-механічні характеристики зразків комплексного металозолофосфатного в'язучого.

Таблиця 7

**Фізико-механічні характеристики зразків комплексного металозолофосфатного в'язучого**

Вид залізовміщуючого компонента	Середня густина зразків, кг/м <sup>3</sup>	Границя міцності при стиску, МПа
Фосфогіпс + Відновлений металевий шлам Вінницького підшипникового заводу	1875	6,3
Фосфогіпс + Відновлений металевий шлам + Зола-винос	1920	5,5
Фосфогіпс + Відновлений металевий шлам + Червоний бокситовий шлам	1980	6,8
Фосфогіпс + Відновлений металевий шлам + Зола-винос + Червоний бокситовий шлам	1970	7,2

Таке комплексне в'язуче можна використовувати для виготовлення жаростійких бетонів. В якості оксидного компоненту в'язучого найбільш доцільно використовувати залізовміщуючі відходи промисловості металообробних виробництв, які представляють собою тонкодисперсний металевий шлам та червоний бокситовий шлам з високим вмістом оксидів заліза та алюмінію.

Отримані позитивні результати досліджень фізико-механічних властивостей зразків підтверджують доцільність продовження подальших наукових досліджень. Зокрема, для підвищення міцності та покращення інтесифікації твердіння передбачається додавання до складу сумішей металозолофосфатного в'язучого природних мінеральних добавок. Після оптимізації рецептурно-технологічних факторів комплексного безклінкерного в'язучого планується вивчення спеціальних властивостей виробів отриманих на основі такого в'язучого.

**Висновки**

Таким чином, можливість використання тих чи інших промислових відходів для виробництва в'язучих речовин визначається різноманітністю властивостей вихідної сировини, ступенем її підготовленості для застосування у будівництві тощо. Ці відмінності мають бути враховані для виявлення економічної ефективності їх використання. Для кожного відходу необхідно визначити не лише найбільш раціональний спосіб переробки, а й відповідну сферу застосування.

В результаті проведених досліджень встановлено, що тільки комплексне використання промислових техногенних відходів дозволить їх ефективно використовувати при виготовленні будівельних виробів.

На основі проведених досліджень та результатів інших науковців можна стверджувати, що основним структуроутворюючим компонентом у складі комплексного безклінкерного металозолофосфатного в'язучого є фосфати заліза.

Враховуючи те, що виробництво будівельних матеріалів належить до числа найбільш матеріаломістких галузей промисловості, використання промислових відходів як сировини при виготовленні будівельних матеріалів суттєво знизить вичерпання природних ресурсів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Demchyna, B., L. Vozniuk, and M. Surmai. "Scientific foundations of solving engineering tasks and problems." (2021).
2. Beresjuk, O. "Prognose des volumens von gebäudeabfällen." Theoretical and scientific foundations in research in Engineering. 1.1: 13–19. (2022).
3. Kalafat, K., L. Vakhitova, and V. Drizhd. "Technical research and development." International Science Group. – Boston : Primedia eLaunch, 616 p. (2021).
4. Березюк, О. В., "Математичне моделювання прогнозування обсягів продукування будівельних відходів в різних країнах світу." Вісник Вінницького політехнічного інституту 3 (2021): 41–46.
5. Wójcik, Waldemar, and Małgorzata Pawłowska, eds. Biomass as Raw Material for the Production of Biofuels and Chemicals. Routledge, 2021.
6. Beresjuk, O., et al. "Theoretical and scientific foundations in research in Engineering." (2022).
7. Boiko, T., et al. Theoretical foundations of engineering. Tasks and problems. Vol. 3. International Science Group, 2021.
8. Березюк, О. В. "Перегісія кількості сміттєспалювальних заводів." Научные труды SWorld 2.1 (2015): 63-66.
9. Hnes, L., S. Kunytskyi, and S. Medvid. "Theoretical aspects of modern engineering." International Science Group: 356 p. (2020).
10. Korniylo, I., O. Gnyr "Scientific foundations in research in Engineering." (2022).
11. Сергеев, А. М. "Научные основы массового использования в строительстве отходов энергетической промышленности." Новые материалы и технологии в промышленном и дорожном строительстве.–К.: Вища школа (1990): 167-216.
12. Sokolovskaya, O. "Scientific foundations of modern engineering/Sokolovskaya O., Ovsiannykova L. Stetsiuk V., etc–International Science Group." Boston: Primedia eLaunch 528 (2020).
13. Баженов, Ю. М., and Л. И. Дворкин. "Ресурсосбережение в строительстве за счет применения побочных промышленных продуктов." М.: ЦМИПКС (1986).
14. Гоц, В. І. (2009). Ефективні будівельні матеріали та вироби на основі активованих паливних зол і шлаків. Дис. д-ра техн. наук/ВІ Гоц.— К, 397.
15. Пушкарьова, К. К., О. А. Гончар, and В. В. Павлюк. "Перспективні технології утилізації відходів паливно-енергетичної промисловості та ефективність їх застосування при отриманні будівельних матеріалів з підвищеними експлуатаційними характеристиками." Строительные материалы и изделия 4 (2005): 20-23.
16. Постовий, П. В. Напрямки використання побутових та промислових відходів в будівництві. Сборник научных трудов SWorld, 2015.
17. Павлюк, Б. І. Композиційні будівельні матеріали із використанням промислових відходів. Сборник научных трудов SWorld, 2014.
18. Жданов, А. В. "Энергоэффективные строительные материалы полифункционального назначения." Череповецкий государственный университет, 2014.
19. Кулик, В. В. Перспективы использования промышленных отходов в строительной отрасли. Тюменский индустриальный университет, 2012
20. Смирнов, В. В. "Специальные строительные материалы для тепло модернизации зданий." Тюменский индустриальный университет, 2014.
21. Титов, В. В. "Композиционные электропроводные материалы для изготовления строительных изделий специального назначения." Тюменский индустриальный университет, 2015
22. Ковальчук, С. В. "Специальные строительные материалы на основе вторичных продуктов промышленности." Тюменский индустриальный университет, 2013.
23. Сердюк, В. Р. "Золоцементне в'язуче для виготовлення ніздрюватих бетонів." (2011).
24. Роль золи у формуванні в'язучих властивостей цементних композицій / Кривенко П.В., Блажис Г.Р., Гоц В.І., Ростовська Г.С. // Вісник Придніпровської держ. академії будівництва і архітектури. – 2002. – №8. – С. 23-31.
25. Пушкарьова К.К. Особливості сульфатної активації золоцементних в'язучих систем різними модифікаціями ангідриту / К.К. Пушкарьова, О.А. Назим, В.В. Павлюк, В.О. Шевчук, І.М. Павлюк // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2003. – Вип. 22. – С. 36-41.
26. Гоц В.І. Золонатовнені в'язучі та бетони: структура, властивості, екологічні та економічні аспекти виготовлення і використання / В.І. Гоц // Сучасне промислове та цивільне будівництво. – Макіївка, 2007. – Т. 3. – №2. – С. 87-93.
27. Лужно-активовані шлакопортландцементи / П.В. Кривенко, О.М. Петропавловський, О.Г. Гелевера, Г.В. Вознюк, В.І. Пушкар, В.І. Гоц, С.А. Тимошенко // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – Макіївка: Дон НАБА, 2009. – Вип. 1 (75). – С. 123-131.
28. Деякі аспекти оцінки пуццоланової активності паливних зол / Гоц В.І., Пушкарьова К.К., Кочевих М.О., Павлюк В.В., Цибульський В.Г. // Ресурсо-економічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Рівне, 2007. – Вип. 15. – С. 18-27.
29. Использование пуццоланового цемента для решения некоторых проблем технологии товарного бетона / Рунова Р.Ф., Руденко И.И., Гоц В.И., Шилок П.С. // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка. – 2005. – №20. – С. 15-19.
30. Оцінка реакційної здатності золи в складі цементних композицій, що твердіють в умовах ТВО / Пушкарьова К.К., Гоц В.І., Кочевих М.О., Павлюк В.В. // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка. – 2007. – №27. – С. 46-51.
31. Эффективность действия суперпластификаторов в бетонных смесях на основе пуццоланового цемента / Рунова Р.Ф., Руденко И.И., Гоц В.И., Шилок П.С. // Ресурсо-економічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Рівне, 2005. – Вип. 13. – С. 86-95.
32. Активність високонаповнених золотужних композицій на основі золи-виносу / Кривенко П.В., Блажис Г.Р., Гоц В.І., Ростовська Г.С. // Вісник Придніпровської державної академії будівництва. – 2002. – №9. – С. 29-36.
33. Камисов А.М. Утилизация фосфогипса с получением материала для производства в'язучих / А.М. Камисов, О.Е. Леонова, Ю.А. Кононов. – Международная конференция «Сотрудничество для решения проблемы отходов», 2008. – С.1-5.
34. Червяков Ю.М. Використання гіпсовміщуючих відходів промисловості в якості сировини при виробництві будівельних матеріалів і виробів / Ю.М. Червяков, Л.О. Супрун // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка. – 2013. – №. 48. – С. 60-63.
35. Соломатов В.И., Дудынов С.В., Федорцов А.П. Оксидно-кислотные вяжущие и композиты на их основе //Изв. вузов.



Строительство.– 1995.– №4.– С. 41– 43.

36. Сердюк, В. Р. "Формування структури анодних заземлювачів з бетелу-м для систем катодного захисту." Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка. Вип. 33: 99-104. (2010).
37. Ковальський, В. П., and В. П. Ковальський. "Применения красного бокситового шлама в производстве строительных материалов." (2005).

## REFERENCES

1. Demchyna, B., L. Vozniuk, and M. Surmai. "Scientific foundations of solving engineering tasks and problems." (2021).
2. Beresjuk, O. "Prognose des volumens von gebäudeabfällen." Theoretical and scientific foundations in research in Engineering. 1.1: 13–19. (2022).
3. Kalafat, K., L. Vakhitova, and V. Drizhd. "Technical research and development." International Science Group. – Boston : Primedia eLaunch, 616 r. (2021).
4. Bereziuk, O. V., "Matematychnе modeliuвання prohozuvannya obsiahiv produkuvannya budivelnnykh vidkhodiv v riznykh krainakh svitu." Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu 3 (2021): 41-46.
5. Wójcik, Waldemar, and Małgorzata Pawłowska, eds. Biomass as Raw Material for the Production of Biofuels and Chemicals. Routledge, 2021.
6. Beresjuk, O., et al. "Theoretical and scientific foundations in research in Engineering." (2022).
7. Boiko, T., et al. Theoretical foundations of engineering. Tasks and problems. Vol. 3. International Science Group, 2021.
8. Bereziuk, O. V. "Rehresiiia kilkosti smittiespaliuvalnykh zavodiv." Nauchnye trudy SWorld 2.1 (2015): 63-66.
9. Hnes, L., S. Kunytskyi, and S. Medvid. "Theoretical aspects of modern engineering." International Science Group: 356 r. (2020).
10. Kornylo, I., O. Gnyr "Scientific foundations in research in Engineering." (2022).
11. Serheev, A. M. "Nauchnye osnovy massovoho yspolzovaniya v stroitelstve otkhodov enerhetycheskoi promyshlennosti." Novye materyaly y tekhnolohyy v promyshlennom y dorozhnom stroitelstve.–K.: Vyshcha shkola (1990): 167-216.
12. Sokolovskaya, O. "Scientific foundations of modern engineering/Sokolovskaya O., Ovsiannykova L. Stetsiuk V., etc–International Science Group." Boston: Primedia eLaunch 528 (2020).
13. Bazhenov, Yu. M., and L. Y. Dvorkyn. "Resursosberezenyе v stroitelstve za schet pryumeneniya pobochnykh promyshlennykh produktov." M.: TsMYPKS (1986).
14. Hots, V. I. (2009). Efektyvni budivelni materialy ta vyroby na osnovi aktyvovanykh palyvnykh zol i shlakiv. Dys. d-ra tekhn. nauk/VI Hots.— K, 397.
15. Pushkarova, K. K., O. A. Honchar, and V. V. Pavliuk. "Perspektyvni tekhnolohii utylizatsii vidkhodiv palyvno-enerhetychnoi promyslovosti ta efektyvnist yikh zastosuvannya pry otrymanni budivelnnykh materialiv z pidvyshchenymy ekspluatatsiynymy kharakterystykamy." Stroitelnye materyaly y yzdeliya 4 (2005): 20-23.
16. Postovyi, P. V. Napriamky vykorystannia pobutovykh ta promyslovykh vidkhodiv v budivnytstvi. Sbornyk nauchnykh trudov SWorld, 2015.
17. Pavliuk, B. I. Kompozytsiini budivelni materialy iz vykorystanniam promyslovykh vidkhodiv. Sbornyk nauchnykh trudov SWorld, 2014.
18. Zhdanov, A. V. "Enerhoefektyvnye stroitelnye materyaly polyfunktsionalnogo naznacheniya." Cherepovetskiy hosudarstvennyi unyversytet, 2014.
19. Kulyk, V. V. Perspektivy yspolzovaniya promyshlennykh otkhodov v stroitelnoi otrasly. Tiimenskiy yndustrialnyi unyversytet, 2012
20. Smyrnov, V. V. "Spetsyalnye stroitelnye materyaly dlia teplomodernizatsyy zdaniy." Tiimenskiy yndustrialnyi unyversytet, 2014.
21. Tytov, V. V. "Kompozytsyonnye elektroprovodnye materyaly dlia yzgotovleniya stroitelnykh yzdeliy spetsyalnogo naznacheniya." Tiimenskiy yndustrialnyi unyversytet, 2015
22. Kovalchuk, S. V. "Spetsyalnye stroitelnye materyaly na osnove vtorychnykh produktov promyshlennosti.". Tiimenskiy yndustrialnyi unyversytet, 2013.
23. Serdiuk, V. R.. "Zolotsementne viazhuche dlia vyhotovlennia nizdriuvatykh betoniv." (2011).
24. Rol zoly u formuvanni viazhuchykh vlastyvoesti tsementnykh kompozytsii / Kryvenko P.V., Blazhis H.R., Hots V.I., Rostovska H.S. // Visnyk Prydniprovskoi derzh. akademii budivnytstva i arkhitektury. – 2002. – №8. – S. 23-31.
25. Pushkarova K.K. Osoblyvosti sulfatnoi aktyvatsii zolotsementnykh viazhuchykh system riznymy modyifikatsiiamy anhidrytu / K.K. Pushkarova, O.A. Nazym, V.V. Pavliuk, V.O. Shevchuk, I.M. Pavliuk // Naukovyi visnyk budivnytstva. – Kharkiv: KhDTUBA, KhOTV ABU, 2003. – Vyp. 22. – S. 36-41.
26. Hots V.I. Zolonapovneni viazhuchi ta betony: struktura, vlastyvoesti, ekolohichni ta ekonomichni aspekty vyhotovlennia i vykorystannia / V.I. Hots // Suchasne promyslove ta tsyvilne budivnytstvo. – Makiivka, 2007. – T. 3. – №2. – S. 87-93.
27. Luzhno-aktyvovani shlakoportlandtsementy / P.V. Kryvenko, O.M. Petropavlovskiy, O.H. Helevera, H.V. Vozniuk, V.I. Pushkar, V.I. Hots, S.A. Tymoshenko // Visnyk Donbaskoi natsionalnoi akademii budivnytstva i arkhitektury. – Makiivka: Don NABA, 2009. – Vyp. 1 (75). – S. 123-131.
28. Deiaki aspekty otsinky putsolanovoi aktyvnosti palyvnykh zol / Hots V.I., Pushkarova K.K., Kochevykh M.O., Pavliuk V.V., Tsybulskiy V.H. // Resurso-ekonomni materialy, konstruksii, budivli ta sporudy. – Rivne, 2007. – Vyp. 15. – S. 18-27.
29. Yspolzovanye putsolanovoho tsementa dlia resheniya nekotorykh problem tekhnolohyy tovarnoho betona / Runova R.F., Rudenko Y.Y., Hots V.Y., Shyliuk P.S. // Budivelni materaly, vyroby ta sanitarна tekhnika. – 2005. – №20. – S. 15-19.
30. Otsinka reaktsiinoi zdatnosti zoly v skladi tsementnykh kompozytsii, shcho tverdiut v umovakh TVO / Pushkarova K.K., Hots V.I., Kochevykh M.O., Pavliuk V.V. // Budivelni materialy, vyroby ta sanitarна tekhnika. – 2007. – №27. – S. 46-51.
31. Effektyvnost deistviya superplastyfikatorov v betonnykh smesiakh na osnove putsolanovoho tsementa / Runova R.F., Rudenko Y.Y., Hots V.Y., Shyliuk P.S. // Resursoekonomni materialy, konstruksii, budivli ta sporudy. – Rivne, 2005. – Vyp. 13. – S. 86-95.
32. Aktyvnist vysokonapovnenykh zololuzhnykh kompozytsii na osnovi zoly-vynosu / Kryvenko P.V., Blazhis H.R., Hots V.I., Rostovska H.S. // Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva. – 2002. – №9. – S. 29-36.
33. Kamysov A.M. Utylyzatsiya fosfohypsa s poluchenem materyala dlia proyzvodstva viazhuchykh / A.M. Kamysov, O.E. Leonova,

- Yu.A. Kononov. – Mezhdunarodnaia konferentsiya «Sotrudnychestvo dlia resheniya problemy otkhodov», 2008. – S.1-5.
34. Cherviakov Yu.M. Vykorystannia hipsovsmishchuiuchykh vidkhodiv promyslovosti v yakosti syrovyny pry vyrobnytstvi budivelnykh materialiv i vyrobiv / Yu.M. Cherviakov, L.O. Suprun //Budivelni materialy, vyroby ta sanitarna tekhnika. – 2013. – №. 48. – S. 60-63.
35. Solomatov V.Y., Dudymov S.V., Fedortsov A.P. Oksydno-kyslotnye viazhushchye y kompozyty na ykh osnove //Yzv. vuzov. Stroytelstvo.– 1995.– №4.– S. 41– 43.
36. Serdiuk, V. R. "Formuvannia struktury anodnykh zazemliuvachiv z betelu-m dlia system katodnoho zakhystu." Budivelni materialy, vyroby ta sanitarna tekhnika. Vyp. 33: 99-104. (2010).
37. Kovalskiy, V. P., and V. P. Kovalskiy. "Prymeneniya krasnoho boksytovoho shlama v proyzvodstve stroytelnykh materyalov." (2005).

**Березюк Олег Володимирович** – д.т.н., професор кафедри Безпеки життєдіяльності та педагогіки безпеки, Вінницький національний технічний університет, e-mail: berezyukov@vntu.edu.ua

**Лемешев Михайло Степанович** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, e-mail: mlemeshev@i.ua, ORCID: 0000-0002-6083-0378

**Сівак Катерина Костянтинівна** – аспірант, Вінницький національний технічний університет, e-mail: lemishko.katya@gmail.com, ORCID: 0000-0002-5300-1707

**Стаднійчук Максим Юрійович** – аспірант, Вінницький національний технічний університет, e-mail: b15.stadnychuk@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2660-4799

**Сівак Роман Васильович** – аспірант, Вінницький національний технічний університет, ORCID: 0000-0002-3178-8772

**O. Berezyuk**  
**M. Lemeshev**  
**K. Sivak**  
**M. Stadnychuk**  
**R. Sivak**

## PROSPECTS FOR THE USE OF MAN-MADE RAW MATERIALS IN THE PRODUCTION OF COMPOSITE BINDERS VINNYTSIA NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY

Vinnytsia National Technical University

*The aggravation of the economic and environmental situation in Ukraine necessitates the development of new efficient technologies for the processing and use of industrial technogenic waste from the thermal power and chemical industries. Such technologies should ensure the maximum degree of use in the production of high-quality efficient building products. The choice of technology for the preparation, processing and use of industrial waste depends on the chemical, mineralogical, granulometric composition and method of production. Despite the fact that such wastes are used mainly as inert fillers, their overall use remains low. The share of their use in the manufacture of building products is 5-12%, at the same time, the manufacture of building products requires additional energy costs.*

*Many industrial and municipal wastes, which are of great practical interest, remain insufficiently demanded for various reasons. In this regard, the popularization of the likely directions for the introduction of industrial waste and the effect achieved in this case is of fundamental importance. One of the main industries for the integrated use of waste is the industry of building materials, where this raw material can act as the basis for the creation of new highly efficient materials. Predicting the properties of such materials is a rather difficult task, the solution of which can be achieved through the formation of a systematic approach to determining quality indicators, as well as predicting and regulating the properties of materials depending on the goals and objectives solved by builders and technologists in the manufacture of building products.*

**Key words:** industrial waste; building materials; complex binder.

**Berezyuk Oleg** – Ph.D., professor of the Department of Life Safety and Safety Pedagogy, Vinnytsia National Technical University, e-mail: berezyukov@vntu.edu.ua

**Lemeshev Mikhail** – Ph.D., associate professor of urban planning and architecture, Vinnytsia National Technical University, e-mail: mlemeshev@i.ua, ORCID: 0000-0002-6083-0378

**Sivak Kateryna** – postgraduate student, Vinnytsia National Technical University, e-mail: lemishko.katya@gmail.com, ORCID: 0000-0002-5300-1707

**Stadnychuk Maksym** – postgraduate student, Vinnytsia National Technical University, e-mail: b15.stadnychuk@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2660-4799

**Sivak Roman** – postgraduate student, Vinnytsia National Technical University, ORCID: 0000-0002-3178-8772