

М. С. Лемешев  
К. К. Сівак  
М. Ю. Стаднійчук

## ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ТЕХНОГЕНИХ ВІДХОДІВ В ГАЛУЗІ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Вінницький національний технічний університет

*Чергове загострення екологічної та економічної ситуації в Україні викликає необхідність в розробці 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 таких факторів, як їхній хіміко-мінералогічний та гранулометричний склад та спосіб 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 %, а виготовлення виробів вимагає додаткових енерговитрат.*

*В роботі розглянута можливість використання відходів промисловості не тільки за рахунок їх активації, але і за рахунок використання їх поліфункціональних властивостей. При введенні неактивованої золи до складу бетонної суміші вона збільшує пластичність такої суміші і одночасно мікронаповнювач сприяє утворенню більш міцної контактної зони за рахунок збільшення ступеня кристалохімічної подібності новоутворень. Надмірна кількість золи в складі золомісних матеріалів призводить до підвищення пористості та зниження швидкості набору міцності в часі, що погіршує експлуатаційні характеристики, зокрема морозо- та корозійну стійкість.*

*Широкомасштабному використанню фосфогіпсу перешкоджають його специфічні особливості: агрегатний стан, висока вологість, наявність у його складі фосфорної і сірчаної кислоти та водорозчинних шкідливих сполук фосфору і фтору. Тому перед використанням фосфогіпсу потрібно вилучити або нейтралізувати шкідливі домішки та зменшити концентрацію кислотних залишків. Зв'язати шкідливі домішки та нейтралізувати кислотні залишки можна за рахунок введення в розчин негашеного вапна. Вапно одночасно нейтралізує кислоти та зв'язує водорозчинні шкідливі домішки. Найбільш ефективним методом використання фосфогіпсу, золи-винос та дрібнодисперсних порошоків шламів сталі ШХ-15 є комплексне використання таких відходів, в результаті чого можна отримати металозолофосфатне в'язуче (МЗФВ).*

**Ключові слова:** промислові відходи; зола-винос; фосфогіпс; будівельні матеріали; комплексне в'язуче.

### Вступ

В сучасних умовах будівельної галузі однією із головних задач є створення нових ефективних матеріалів, поліпшення їх якісних і теплофізичних характеристик, та розширення номенклатури будівельних виробів. Майбутні перспективи розвитку підприємств промисловості будівельних матеріалів знаходяться на стадії корінної переоцінки у зв'язку з гострим дефіцитом енергетичних ресурсів. Для вирішення проблем по зниженню собівартості кінцевої продукції будівництва і скороченню витрат природної сировини, паливно-енергетичних і інших ресурсів, особлива роль відводиться розширенню використання промислових відходів. Із цим ресурсним джерелом, як підтверджують проведені дослідження, пов'язані значні резерви по підйому виробництва і його подальшій інтенсифікації [1-4].

Головним завданням будівельників в наш час має бути впровадження нових прогресивних та економічних технологій по виробництву будівельних матеріалів з використанням відходів промисловості та місцевої сировини. Необхідно враховувати, що на перший план виходить також розробка шляхів вирішення проблем забруднення навколишнього середовища багатотоннажними відходами теплоенергетики – золами-винесення ТЕС та екологічно небезпечними відходами хімічної промисловості – фосфогіпс, десульфогіпс і т.д. [4-6].

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 Ладизинській ТЕС накопичено біля 20700 тис. тон золо-шлакових 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 – металеві шлами.

## Постановка задач досліджень і шляхи їх вирішення

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

Зростання міцності будівельних виробів може вирішуватись технологічними прийомами - за рахунок комплексного використання хімічних і активних мінеральних добавок та активації вихідної сировини [6-7]. Для отримання природних мінеральних добавок потрібні додаткові затрати на їх видобування, транспортування та виробництво. В той же час в Україні щорічно накопичується величезна кількість промислових відходів, питома вага їх використання в технології будівельних матеріалів у 5-8 раз менше, ніж у зарубіжних країнах [8].

Комплексне вирішення проблеми економічності та екологічності будівельних виробів можливе за рахунок розробки нових ефективних композиційних в'язучих та бетонів з використанням промислових відходів, які б задовольняли основним будівельним вимогам, а саме такі вироби повинні володіти достатньою міцністю, підвищеною водостійкістю, вогнестійкістю та морозостійкістю тощо.

В теперішній час актуальною є розробка концепції максимального використання промислових відходів (золи-винос, фосфогіпсу, червоного бокситового шламу та інших відходів) як сировини для отримання нових сучасних будівельних матеріалів та виробів, які за своїми властивостями не поступаються традиційним, але є ефективнішими з екологічної та економічної точок зору.

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 портландцементного клінкеру (до 20 %). Тому зола як алюмосилікатна речовина має стати одним із основних компонентів сучасних в'язучих.

Структура та склад золи залежить від цілого комплексу одночасно діючих факторів: морфологічних властивостей спалювання палива, тонкості помелу в процесі його підготовки, зольності палива, хімічного складу мінеральної частини палива; температури у зоні горіння; часу перебування в зоні горіння [ 8-9] та ін.

Характерною особливістю золи-винос є гладка сплавлена скловидна поверхня та приблизно правильна сферична форма частинок. Саме через таку форму частинок, зола підвищує пластичність суміші тому використовується в технології приготування бетонів як пластифікатор [10].

Густина золи-виносу від спалювання різних видів палива коливається в межах від 1800 до 2400 кг/м<sup>3</sup>; середня пористість золи складає 4,8-7,4 %; насипна густина – від 600 до 1100 кг/м<sup>3</sup>. Основним компонентом золи-виносу є скловидна алюмосилікатна фаза, яка становить 40-65 % від всієї маси, її частинки мають кулеподібну форму з розмірами до 100 мкм.

Аналіз наукових досліджень і практичний досвід використання золи-винос, вказує на економічну доцільність використання відходів ТЕС при виробництві цементу та комплексного багатоконпонентного 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 попередніх досліджень встановлено, що для покращення фізико-хімічних і фізико-механічних характеристик будівельних виробів найбільш доцільно використовувати золу-винос Ладижинської ТЕС. Вона за хімічним складом відноситься до основних зол, що позитивно впливатиме на процеси структуроутворення. В таблиці 1 приведено хімічний склад золи винос Ладижинської ТЕС.

Аналіз досвіду використання золи-винос показує, що при введенні її до складу бетонної суміші вона виконує декілька функцій, володіє поліфункціональними властивостями. Але 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 [11].

**Хімічний склад золи-винос Ладизинської 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 Ладизинської ТЕС	49,26	23,00	19,35	3,53	1,79	2,11	0,40	0,10	1,40
Зола-винос Ладизинської ТЕС	52,1	23,1	15,6	3,16	1,08	0,4	1,2	0,57	0,7

Аналіз наукових праць, присвячених використанню паливних зол і шлаків у складі в'язучих речовин та бетонів, свідчить про доцільність активації золи різними способами. 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 завдяки збільшенню ступеня кристалохімічної подібності новоутворень та реліктових залишків, що не підлягають гідратації.

Кількість золи, що використовується в складі комплексного в'язучого бетонної суміші, може бути збільшена за рахунок її активації різними способами, хімічним, механічним, механохімічним. Авторами в роботах [6, 7, 12, 13] встановлено взаємозв'язок між видами паливних зол і шлаків, способами їх активації та можливостями їх використання в складі будівельних матеріалів і виробів. В таблиці 2 приведено різні найменування відходів теплоенергетики, спосіб їх активації та рекомендована сфера використання в складі будівельних матеріалів і виробів.

Таблиця 2

**Взаємозв'язок між видами паливних зол і шлаків, способами їх активації та можливостями їх використання в складі будівельних матеріалів і виробів [12]**

Найменування відходів теплоенергетики	Вид активації	Будівельні матеріали і вироби	Сфера використання
Золи-винесення	хімічна (лужноземельна)	в'язучі речовини, модифіковані пластифікуючи ми 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 60мас.%) 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 пуцолани, її мінералогічний склад та питома поверхня. В результаті проведених досліджень автори в своїх роботах [12, 14-16] 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 і 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 помітний вплив на цей показник має термоактивація (тепловолога обробка або автоклавування);
- застосування комплексної активації золошлакових відходів частково нівелює коливання їх хіміко-мінералогічного складу.

Використання механічної, хімічної та комплексної активації золошлакових відходів дозволяє виготовляти матеріали з покращеними міцнісними 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 [12].

Авторами в своїх роботах [17-18] було розроблено принципи композиційної побудови золонаповнених штучних матеріалів, які дозволяють збільшити кількість золошлакового компонента в складі бетонної суміші без погіршення властивостей синтезованого штучного каменю:

- 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 та таумаситу;
- 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 3.

Таблиця 3

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

Основні складові	Вміст, % по масі	
	фосфогіпсогидрат	фосфогіпсовгидрат
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 вологості, фракційного складу і ступеню ущільнення. Фосфогіпс є матеріалом, який дуже легко стискається. При його стисканні проходить зменшення пористості, витіснення або переміщення вологості. 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 [19]. 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 не очищеного 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 вивчається, 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.

Перед використанням фосфогіпсу потрібно вилучити або нейтралізувати шкідливі домішки та зменшити концентрацію кислотних залишків. Нейтралізувати кислі залишки можна негашеним вапном. Кількість вапна підбирається з розрахунку витрат на нейтралізацію фосфогіпсу та додатково для підтримки високолузнього середовища. Вапно вступаючи у взаємодію з  $H_3PO_4$ ,  $CaHPO_4$ ,  $Ca(H_2PO_4)_2$ ,  $H_2SiF_6$  і  $HF$ , утворює не розчинні з'єднання  $Ca_3(HPO_4)_2$ ,  $Ca_5(HPO_4)_3OH$ ,  $Ca_3(PO_4)_2$ ,  $CaSiF_6$ , і  $CaF_2$  [19-20]. Однак така технологія передбачає використання високо енергоємної речовини – будівельного вапна лише для нейтралізації кислих та шкідливих залишків. Необхідно зауважити, вартість вапна на теперішній час вища ніж вартість цементу, що нелогічно, оскільки цемент випалюється за температури 1450-1500 °С, а вапно – 1000-1200 °С, тому собівартість вапна мала б бути нищою за рахунок меншого використання енергетичної складової.

Зменшити концентрацію залишків кислот можна за рахунок відмивання. Промивка фосфогіпсу водою дозволяє також вимити шкідливі водорозчинні домішки та отримати сировину для виробництва гіпсових в'язучих. Для цього потрібно, як мінімум чотирьох кратний по відношенню до фосфогіпсу об'єм води. На рисунку 1 приведена схема виробництва випалених і автоклавних гіпсових в'язучих з фосфогіпсу. При такій технології недоліком є отримання кислих водних розчинів з концентрацією кислот від 2 до 6 % мас., які потребують додаткових затрат на утилізацію.

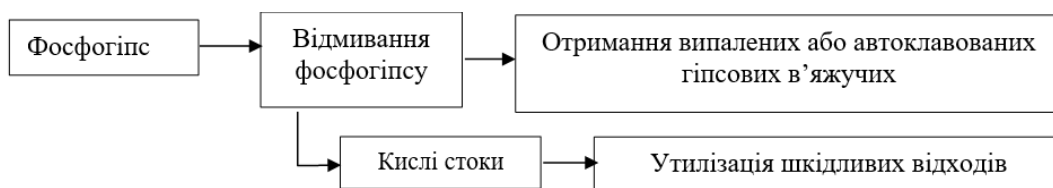


Рисунок 1 – Схема виробництва випалених і автоклавних гіпсових в'язучих з фосфогіпсу

Автори в своїх роботах [20-21] запропонували більш ефективну технологію переробки фосфогіпсових відходів шляхом нейтралізації залишків кислот золою винесення з її одночасною механохімічною активацією (рис. 2). Під час активації золи винесення відбувається руйнування її скловидної оболонки, при цьому вивільняються активні частинки кремнезему та глинозему. Недоліком такої технології є отримання низькомарочних виробів.

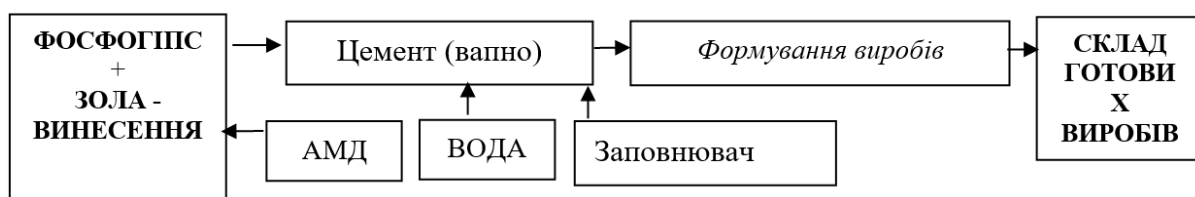


Рисунок 2 – Розроблена схема отримання невипалених виробів з використанням активної мінеральної добавки

Для покращення відмивання фосфогіпсу водою, авторами в роботі [21-22] було запропоновано використовувати добавки «С-3» і «Релаксол». Дані добавки забезпечують краще відмивання кислот з меншою кількістю води. В таблиці 4 приведено як змінюється вміст кислот у водному розчині при відмивці фосфогіпсу водою у співвідношенні води до фосфогіпу В/Ф=1 в результаті використання добавки «С-3» і «Релаксол».

Таблиця 4

**Вміст кислотного залишку у водному розчині при відмивці фосфогіпсу водою у співвідношенні В/Ф=1**

Зразок	Залишки кислот у водному розчині при відмивці В/Ф=1, %		
	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Фосфогіпс відмитий водними розчинами кислот без добавки	1,37	0,26	2,03
Фосфогіпс відмитий водними розчинами кислот з добавкою «С-3»-0,5 %	2,55	0,92	3,8
Фосфогіпс відмитий водними розчинами кислот з добавкою «Релаксол»-0,5 %	1,53	0,34	2,38

Як видно із таблиці 3 концентрація фосфорної і сірчаної кислоти збільшується за рахунок використання добавок «С-3» і «Релаксол». Такі добавки забезпечують краще відмивання кислот з меншою кількістю води. В результаті чого можна зменшити кількість кислих стоків у 2-4 рази, а що саме важливо отримати водні розчини з більшою концентрацією фосфорної та сірчаної кислоти. Такі стоки не потрібно нейтралізувати, їх можна використовувати для хімічної активації золи-винос.

В роботі [23] авторами досліджено використання кислих стоків фосфогіпсу для хімічної та механо-хімічної активації золи винос. Комплексний метод механо-хімічної активації золи винос передбачає руйнування поверхні склоподібної оболонки частинок шляхом використання кислотних залишків та застосування механічного перемішування золофосфогіпсової суміші у прохідному змішувачі. Такий метод сприяє більш повній руйнації скловидних оболонок золи-винос (ЗВ). Рентгенофазові дослідження цементних і золоцементних зразків вказують на наявність у їх складі негідратованих клінкерних мінералів C<sub>3</sub>S – лінії з міжплощинними відстанями, d/n = 3,02; 2,77; 2,75 2,18; 1,76; 1,45 А і C<sub>2</sub>S – лінії з d/n=2,77; 2,18; 1,97 1,76; 1,45 А; Ca(OH)<sub>2</sub> – лінії з d/n=4,90; 3,10; 2,62 1,92 А; CaCO<sub>3</sub> – лінії з d/n=1,82 А; кварцу – лінії d/n=3,34 А. Також простежуються лінії, характерні для гідратних новоутворень – низькоосновних гідросилікатів кальцію (CSH) – d/n=3,08 А. В золоцементних зразках з добавкою 30% мас. активізованої золи з'являються комплексні алюміній-залізогідросульфохмішуючі сполуки кальцію, для яких характерні лінії з d/n=2,45; 3,07; 4,22; 7,62 А. Наявність таких новоутворень у складі золоцементних зразків можна пояснити тим, що під час хімічної активації золи-виносу утворюються сульфати алюмінію та заліза. Рентгенофазові дослідження, диференційно-термічні аналізи (ДТА) і хімічні реакції підтвердили наявність таких солей і можливість їхньої участі у процесах гідратаційного тверднення цементу.

Серед залізовміщуючих дисперсних відходів металообровоної промисловості, варто відмітити шлами шарикопідшипникового виробництва. Даний шлам практично не переробляється через високу дисперсність і вміст мастильно-охолоджувальних речовин. Процентний вміст заліза складає 86,3 ÷ 87,96 %. Середній розмір частинок шламу становить 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)) [24].

В роботах [25-26] авторами обґрунтовано доцільність застосування дрібнодисперсних порошоків шламів сталі ШХ-15 для виготовлення спеціального захисного покриття від електромагнітних випромінювань, а також наведені результати досліджень захисних властивостей металонасичених бетонів. В роботі [27] запропоновано використовувати для боротьби з зарядами статичної електрики покриття із електропровідного бетону, технологія виготовлення якого досить проста і не потребує дорогих матеріалів і спеціального устаткування. Автори в статті [22] стверджують, що

бетел-м може використовуватись для виготовлення електропровідних елементів (анодних заземлювачів) систем антикорозійного катодного захисту підземних інженерних мереж, а формування електропровідних виробів з комплексним застосуванням силових і електромагнітного впливів забезпечує покращення фізико-механічних і електрофізичних властивостей елементів анодних заземлювачів.

Для сучасних умов експлуатації об'єктів житлового фонду одночасно з підвищенням теплозахисних характеристик огорожувальних конструкцій будівлі актуальною є проблема зменшення рівнів електромагнітного забруднення приміщень [28-29]. В промислових містах середній рівень ЕМВ створений штучними джерелами випромінювання, перевищує природний рівень в сотні разів. Значна частина населення великих міст піддається шкідливому впливу електромагнітного опромінення з рівнями надзвичайно шкідливими для здоров'я людини, які перевищують  $5 \text{ мкВт/см}^2$ .

Перспективним будівельним матеріалом для теплореконструкції житлових об'єктів котрий зменшує рівень електромагнітного забруднення приміщень є використання металонасичених бетонів ніздрюватої структури. В роботах [30-31] авторами доведено зменшення рівня ЕМВ, в результаті використання у складі сировинних сумішей дрібнодисперсних металевих шламів сталі ШХ-15 при формуванні поризованої структури ніздрюватого бетону. Автори в роботі [31] встановили, що металонасичений ніздрюватий бетон володіє широким спектром радіозахисних та теплозахисних властивостей.

В результаті виконаних досліджень в роботах [8, 32] авторами доведена можливість отримання комплексного металозолофосфатного в'язучого (МЗФВ) на основі відходів промисловості - фосфогіпсу, золи-винос та шламу сталі ШХ-15. Основним процесом при синтезі даного в'язучого є реакція залишків фосфорної та сірчаної кислоти фосфогіпсу із оксидами заліза дрібнодисперсного шламу та золи-виносу. В результаті виконаних експериментальних досліджень отримані контрольні зразки міцністю на стиск  $6,8 \text{ МПа}$ .

### Висновки

Наукові дослідження багатьох авторів, підтверджують технічну можливість використання промислових техногенних відходів в будівельній галузі та отримання нових енергоефективних матеріалів.

Активована зола-винос є поліфункціональним компонентом в складі суміші - з однієї сторони вона може виконувати функцію активної мінеральної добавки, з іншої – наповнювача. За рахунок хімічної активації зольної складової суміші зростає міцність силікатної матриці бетонів, що призводить до економії в'язучого

Найприоритетним напрямком утилізації фосфогіпсів відходів є використання їх у виробництві будівельних матеріалів. Це обумовлюється двома критеріями: по-перше, фосфогіпсові відходи можна віднести до гіпсової сировини, оскільки вони на 80-95% складаються з сульфату кальцію ; по-друге, будівельна індустрія є однією з найматеріалоємніших галузей народного господарства і може споживати фосфогіпсові відходи в значних обсягах.

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

1. Баженов Ю.М. Ресурсосбережение в строительстве за счет применения побочных промышленных продуктов / Баженов Ю.М., Дворкин Л.И. – М.: ЦМИПКС, 1986. – 67 с.
2. Пушкарьова К.К. Перспективні технології утилізації відходів паливно-енергетичної промисловості та ефективність їх застосування при отриманні будівельних матеріалів з підвищеними експлуатаційними характеристиками / К.К. Пушкарьова, О.А. Гончар, В.В. Павлюк // Строительные материалы и изделия. – 2005. – № 4. – С. 20-23.
3. Сергеев А.М. Научные основы массового использования в строительстве отходов энергетической промышленности / А.М. Сергеев // Новые материалы и технологии в промышленном и дорожном строительстве. – К.: Вища школа, 1990. – С. 167-216.
4. Мещеряков Ю.Г. Гипсовые попутные промышленные отходы и их применение в производстве строительных материалов / Ю. Г. Мещеряков. – Л.: Стройиздат, 1982. –144 с.

5. Червяков Ю.М. Використання гіпсовміщуючих відходів промисловості в якості сировини при виробництві будівельних матеріалів і виробів / Ю.М. Червяков, Л.О. Супрун // Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка. – 2013. – №. 48. – С. 60-63.
6. Пушкарьова К.К. Особливості сульфатної активації золоцементних в'язучих систем різними модифікаціями ангідриду / 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.
7. Гоц В.І. Золонापвнені 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.
8. Сердюк В.Р. Комплексне в'язуче з використанням мінеральних добавок та відходів виробництва / В.Р. Сердюк, М.С. Лемешев, О.В. Христинч // Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка. Науково-технічний збірник. – 2009. – Випуск 33. – С. 57-62.
9. Гасан Ю.Г. Эффективность применения зол ТЭС в изделиях на основе гипсовых в'язучих / Гасан Ю.Г., Казанский В.М., Кучерова Г.В. // Комплексное использование минерального сырья и попутных продуктов при производстве строительных материалов. – Киев: КИСИ, 1991. – С. 125 -132.
10. Лемешев М.С. Ресурсозберігаюча технологія виробництва будівельних матеріалів з використанням техногенних відходів / М.С. Лемешев, О.В. Христинч, С.Ю. Зузяк // Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві. – 2018. – № 1. – С. 18-23.
11. 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.
12. Гоц В.І. Эффективні будівельні матеріали та виробы на основі активованих паливних зол і шлаків : дисертація д-ра техн. наук / В.І. Гоц. – К., 2009. – 397 с.
13. 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.
14. 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.
15. Использование пуццоланового цемента для решения некоторых проблем технологии товарного бетона / Рунова Р.Ф., Руденко И.И., Гоц В.И., Шиллюк П.С. // Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка. – 2005. – №20. – С. 15-19.
16. 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, виробы та санітарна техніка. – 2007. – №27. – С. 46-51.
17. Эффективность действия суперпластификаторов в бетонных смесях на основе пуццоланового цемента / Рунова Р.Ф., Руденко И.И., Гоц В.И., Шиллюк П.С. // Ресурсоэкономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Рівне, 2005. – Вип. 13. – С. 86-95.
18. Активність високонаповнених золодужних 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.
19. 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.
20. Сердюк В.Р. Эффективні заповнювачі для ніздрюватих бетонів / В.Р. Сердюк, О.В. Христинч // Сучасні технології матеріали і конструкції в будівництві. Наук.-техн. збірник. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця. – 2013. – №1(13), С. 28-32.
21. Сердюк В.Р. Хімічна активація золи-виносу для цементно-золиних композицій / Сердюк В.Р., Борецький О.Й., Амер Номан // Вісник ВПШ, №1 –1997р. – С.19-22.
22. Сердюк В.Р. Формування структури анодних заземлювачів з бетелу-м для систем катодного захисту / В.Р. Сердюк, М.С. Лемешев, О.В. Христинч // Науково-технічний збірник. Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка, 2010, Випуск 35. – С. 99-104.
23. Сердюк В.Р. Золоцементне в'язуче для виготовлення ніздрюватих бетонів / В.Р. Сердюк, М.С. Лемешев, О.В. Христинч // Сучасні технології матеріали і конструкції в будівництві. Науково-технічний збірник. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця. – 2011. – №1(10). – С. 57-61.
24. Лемешев М.С. Формування структури електропровідного бетону під впливом електричного струму // Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві: Науково-технічний збірник. –Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2006. –С. 36-41.
25. Сердюк В.Р. Строительные материалы и изделия для защиты от электромагнитного излучения радиочастотного диапазона / В.Р. Сердюк, М.С. Лемешев // Строительные материалы и изделия. – 2005. – №4. – С. 8-12.
26. Христинч О.В. Формування мікроструктури бетонів для захисту від іонізуючого випромінювання / О.В. Христинч, М.С. Лемешев // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 1998. – № 2. – С. 18 – 23.
27. Лемешев М.С. Покриття із бетелу-м для боротьби з зарядами статичної електрики / М.С. Лемешев, О.В. Христинч // Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві: Науково-технічний збірник. – Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2009. – С. 29-31.
28. Христинч О.В. Технологічні параметри виготовлення радіаційнозахисного бетону / О.В. Христинч, М.С. Лемешев, Д.В. Черпаха //Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – 2020. – № 1. – С. 1-10.
29. Лемешев М.С. Радіозахисний металонасичений бетон поліфункціонального призначення / М.С. Лемешев, О.В. Христинч, Д.В. Черпаха // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2019. – № 2. – С. 37-45.
30. Сердюк В.Р. Радіозахисні покриття варіатропної структури із бетелу-м / В.Р. Сердюк, М.С. Лемешев // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2008. – № 5. – С. 37-40.
31. Лемешев М.С. Екологічно ефективні будівельні матеріали для теплодернізації будівель / М.С. Лемешев, О.В. Христинч, К.К. Лемішко // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2019. – № 2. – С. 52-61.
32. Соломатов В.И. Оксидно-кислотные вяжущие и композиты на их основе/ Соломатов В.И., Дудынов С.В., Федорцов А.П. //Иzv. вузов. Строительство. – 1995. – №4. – С. 41-43.



## REFERENCES

1. Bazhenov Yu.M. Resursoberezenye v stroitelstve za schet pryomeneniya robochnykh promyshlennykh produktov / Bazhenov Yu.M., Dvorkyn L.Y. – M.: TsMYPKS, 1986. – 67 s.
2. Pushkarova K.K. Perspektivni tekhnologii utylizatsii vidkhodiv palyvno-enerhetychnoi promyslovosti ta efektyvnist yikh zastosuvannia pry otrymanni budivelnnykh materialiv z pidvyshchenymy ekspluatatsiynymy kharakterystykamy / K.K. Pushkarova, O.A. Honchar, V.V. Pavliuk // Stroitelnye materialy y yzdeliya. – 2005. – № 4. – S. 20-23.
3. Serheev A.M. Nauchnye osnovy massovogo yspolzovaniya v stroitelstve otkhodov enerhetycheskoi promyshlennosti / A.M. Serheev // Новые materialy y tekhnologiy v promyshlennom y dorozhnom stroitelstve. – K.: Vyscha shkola, 1990. – S. 167-216.
4. Meshcheriakov Yu.H. Hupsovye poputnye promyshlennye otkhody y ykh pryomeneniye v proyzvodstve stroitelnykh materialov / Yu. H. Meshcheriakov. –L.: Stroyizdat, 1982. –144 s.
5. Cherviakov Yu.M. Vykorystannia hipsovmishchuiuchykh vidkhodiv promyslovosti v yakosti syrovyny pry vyrobnytstvi budivelnnykh materialiv i vyrobiv / Yu.M. Cherviakov, L.O. Suprun //Budivelni materialy, vyroby ta sanitarna tekhnika. – 2013. – №. 48. – S. 60-63.
6. Pushkarova K.K. Osoblyvosti sulfatnoi aktyvatsii zolotsementnykh viazhuchykh system riznymy modyfikatsiiny 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.
7. Hots V.I. Zolonapovneni viazhuchi ta betony: struktura, vlastyvoli, ekolohichni ta ekonomichni aspekty vyhotovlenni i vykorystannia / V.I. Hots // Suchasne promyslove ta tsyvilne budivnytstvo. – Makiivka, 2007. – T. 3. – №2. – S. 87-93.
8. Serdiuk V.R. Kompleksne viazhuche z vykorystanniam mineralnykh dobavok ta vidkhodiv vyrobnytstva / V.R. Serdiuk, M.S. Lemeshev, O.V. Khrystych // Budivelni materialy, vyroby ta sanitarna tekhnika. Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk. – 2009. – Vypusk 33. – S. 57-62.
9. Hasan Yu.H. Effektyvnost pryomeneniya zol TЭС v yzdeliyakh na osnove hupsovykh viazhuchykh / Hasan Yu.H., Kazanskyi V.M., Kucherova H.V. // Kompleksnoe yspolzovaniye myneralnogo syria y poputnykh produktov pry proyzvodstve stroitelnykh materialov. – Kyev: KYSY, 1991. – S. 125 -132.
10. Lemeshev M.S. Resursoberihaiucha tekhnologiya vyrobnytstva budivelnnykh materialiv z vykorystanniam tekhnohennykh vidkhodiv / M.S. Lemeshev, O.V. Khrystych, S.Iu Zuziak // Suchasni tekhnologii, materialy i konstruksii u budivnytstvi. – 2018. – № 1. – S. 18-23.
11. Rol zoly u formuvanni viazhuchykh vlastyvostei 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.
12. Hots V.I. Efektyvni budivelni materialy ta vyroby na osnovi aktyvvovanykh palyvnykh zol i shlakiv : dysertatsiia d-ra tekhn. nauk / V.I. Hots. – K., 2009. – 397 c.
13. 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.
14. Deiaki aspekty otsinky putsolanovoi aktyvnosti palyvnykh zol / Hots V.I., Pushkarova K.K., Kochevykh M.O., Pavliuk V.V., Tsybul'skiy V.H. // Resurso-ekonomni materialy, konstruksii, budivli ta sporudy. – Rivne, 2007. – Vyp. 15. – S. 18-27.
15. Yspolzovaniye putsolanovoho tsementa dlia resheniya nekotorykh problem tekhnologiy tovarnogo betona / Runova R.F., Rudenko Y.Y., Hots V.Y., Shyliuk P.S. // Budivelni materaly, vyroby ta sanitarna tekhnika. – 2005. – №20. – S. 15-19.
16. 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 sanitarna tekhnika. – 2007. – №27. – S. 46-51.
17. Effektyvnost deistviya superplastyfykatorov 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.
18. 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.
19. Kamysov A.M. Utylyzatsiya fosfoghypsa s poluchenym materialy dlia proyzvodstva viazhuchykh / A.M. Kamysov, O.E. Leonova, Yu.A. Kononov. – Mezhdunarodnaia konferentsiya «Sotrudnychestvo dlia resheniya problemy otkhodov», 2008. – S.1-5.
20. Serdiuk V.R. Efektyvni zapovniuvachi dlia nizdriuvatykh betoniv / V.R. Serdiuk, O.V. Khrystych // Suchasni tekhnologii materialy i konstruksii v budivnytstvi. Nauk.-tekhn. zbirnyk. – Vinnytsia: UNIVERSUM-Vinnytsia. – 2013. – №1(13), S. 28-32.
21. Serdiuk V.R. Khimichna aktyvatsiia zoly-vynos dlia tsementno-zolnykh kompozytsii / Serdiuk V.R., Boretskiy O.I., Amer Noman //Visnyk VPI, №1 –1997r. – S.19-22.
22. Serdiuk V.R. Formuvannia struktury anodnykh zazemliuvachiv z betelu-m dlia system katodnoho zakhystu / V.R. Serdiuk, M.S. Lemeshev, O.V. Khrystych // Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk. Budivelni materialy, vyroby ta sanitarna tekhnika, 2010, Vypusk 35. – S. 99-104.
23. Serdiuk V.R. Zolotsementne viazhuche dlia vyhotovlenni nizdriuvatykh betoniv / V.R. Serdiuk, M.S. Lemeshev, O.V. Khrystych // Suchasni tekhnologii materialy i konstruksii v budivnytstvi. Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk. – Vinnytsia: UNIVERSUM-Vinnytsia. – 2011. – №1(10). – S. 57-61.
24. Lemeshev M.S. Formuvannia struktury elektroprovodnogo betonu pid vplyvom elektrychnoho strumu // Suchasni tekhnologii, materialy i konstruksii u budivnytstvi: Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk. –Vinnytsia: UNIVERSUM, 2006. –S. 36-41.
25. Serdiuk V.R. Stroitelnye materialy y yzdeliya dlia zashchyty ot elektromahnytnoho yzlucheniya radyochastotnoho diapazona / V.R. Serdiuk, M.S. Lemeshev // Stroitelnye materialy y yzdeliya. – 2005. – №4. – S. 8-12.
26. Khrystych O.V. Formuvannia mikrostruktury betoniv dlia zakhystu vid ionizovalnogo vyprominiuvannia / O.V. Khrystych, M.S. Lemeshev // Visnyk Vinnytskoho politekhnichnogo instytutu. – 1998. – № 2. – S. 18 – 23.

27. Lemeshev M.S. Pokryttia iz betelu-m dlia borotby z zariadamy statychnoi elektryky / M.S. Lemeshev, O.V. Khrystych // Suchasni tekhnologii, materialy i konstruktсии u budivnytstvi: Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk. – Vinnytsia: UNIVERSUM, 2009. – S. 29-31.
28. Khrystych O.V. Tekhnologichni parametry vyhotovlennia radiatsiinozakhysnogo betonu / O.V. Khrystych, M.S. Lemeshev, D.V. Cherepakha // Naukovi pratsi Vinnytskoho natsionalnogo tekhnichnogo universytetu. – 2020. – № 1. – S. 1-10.
29. Lemeshev M.S. Radiozakhysnyi metalonasychenyi beton polifunktsionalnogo pryznachenia / M.S. Lemeshev, O.V. Khrystych, D.V. Cherepakha // Suchasni tekhnologii, materialy i konstruktсии v budivnytstvi. – 2019. – № 2. – S. 37-45.
30. Serdiuk V.R. Radiozakhysni pokryttia variatropnoi struktury iz betelu-m / V.R. Serdiuk, M.S. Lemeshev // Suchasni tekhnologii, materialy i konstruktсии v budivnytstvi. – 2008. – № 5. – S. 37-40.
31. Lemeshev M.S. Ekologichno efektyvni budivnelni materialy dlia teplomodernizatsii budivel / M.S. Lemeshev, O.V. Khrystych, K.K. Lemishko // Suchasni tekhnologii, materialy i konstruktсии v budivnytstvi. – 2019. – № 2. – S. 52-61.
32. Solomatov V.Y. Oksyдно-kyslotnye viazhushchye y kompozyty na ykh osnove/ Solomatov V.Y., Dudynov S.V., Fedortsov A.P. // Yzv. vuzov. Stroitelstvo. – 1995. – №4. – S. 41-43.

**Лемешев Михайло Степанович** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет: [tlemeshev@i.ua](mailto:tlemeshev@i.ua), ORCID: 0000-0002-6083-0378.

**Сивак Катерина Костянтинівна** – магістр, Вінницький національний технічний університет, e-mail: [lemishko.katya@gmail.com](mailto:lemishko.katya@gmail.com), ORCID: 0000-0002-5300-1707.

**Стаднийчук Максим Юрійович** – магістр, Вінницький національний технічний університет, e-mail: [b15.stadnychuk@gmail.com](mailto:b15.stadnychuk@gmail.com), ORCID: 0000-0002-2660-4799.

**М. С. Лемешев**  
**Е. К. Сивак**  
**М. Ю. Стаднийчук**

## ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ В ОБЛАСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Винницкий национальный технический университет

Очередное обострение экологической и экономической ситуации в Украине вызывает необходимость в разработке новых эффективных технологии переработки и использования промышленных техногенных отходов теплоэнергетики и химической промышленности. Такие технологии должны обеспечить максимальную их степень использования при производстве качественных эффективных строительных изделий. Выбор технологии подготовки, переработки и использования промышленных отходов зависит от таких факторов, как их химико-минералогический и гранулометрический состав и способ получения. Несмотря на то, что такие отходы используются в основном как инертные наполнители, общий объем их использования остается низким. Доля их использования при изготовлении строительных изделий составляет 5-12%, а изготовление изделий требует дополнительных энергозатрат.

В работе рассмотрена возможность использования отходов промышленности не только за счет их активации, но и за счет использования полифункциональных свойств. При введении не активированной золы в состав бетонной смеси она увеличивает пластичность такой смеси и одновременно как микронаполнитель способствует образованию более прочной контактной зоны за счет увеличения степени кристаллохимического сходства новообразований. Избыточное количество золы в составе золосодержащих материалов приводит к повышению пористости и снижению скорости набора прочности во времени, что ухудшает эксплуатационные характеристики, в частности морозо- и коррозионную стойкость.

Широкомасштабному использованию фосфогипса препятствуют его специфические особенности: агрегатное состояние, высокая влажность, наличие в его составе фосфорной и серной кислоты и водорастворимых вредных соединений фосфора и фтора. Поэтому перед использованием фосфогипса нужно удалить или нейтрализовать вредные примеси и уменьшить концентрацию кислотных остатков. Связать вредные примеси и нейтрализовать кислотные остатки можно за счет введения в раствор негашеной извести. Известь одновременно нейтрализует кислоты и связывает водорастворимые вредные примеси. Наиболее эффективным методом использования фосфогипса, золы-вынос и мелкодисперсных порошков шламов стали ШХ-15 является комплексное использование таких отходов, в результате чего можно получить металозолофосфатное вяжущее (МЗФВ).

Ключевые слова: промышленные отходы; зола-вынос; фосфогипс; строительные материалы; комплексное вяжущее.

**Лемешев Михаил Степанович** - канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры строительства, городского хозяйства и архитектуры, Винницкий национальный технический университет: [tlemeshev@i.ua](mailto:tlemeshev@i.ua), ORCID: 0000-0002-6083-0378.

**Сивак Екатерина Константиновна** - магистр, Винницкий национальный технический университет, e-mail: [lemishko.katya@gmail.com](mailto:lemishko.katya@gmail.com), ORCID: 0000-0002-5300-1707.

*Стаднийчук Максим Юрьевич - магистр, Вінницький національний технічний університет, e-mail: b15.stadnychuk@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2660-4799.*

**M. Lemeshev**  
**K. Sivak**  
**M. Stadnychuk**

## **FEATURES OF USE OF INDUSTRIAL TECHNOGENIC WASTE IN THE FIELD OF BUILDING MATERIALS**

Vinnitsia National Technical University

*Another aggravation of the ecological and economic situation in Ukraine makes it necessary to develop new efficient technologies for processing and use of industrial man-made waste from the heat and chemical industries. Such technologies should ensure their maximum degree of use in the production of high-quality efficient construction products. The choice of technology for the preparation, processing and use of industrial waste depends on such factors as their chemical-mineralogical and particle size distribution and method of production. Although such wastes are mostly used as aggregates, their overall use remains low. The share of their use in the manufacture of construction products is 5-12%, and the manufacture of products requires additional energy consumption.*

*The paper considers the possibility of using industrial waste not only due to their activation, but also due to the use of their multifunctional properties. When the inactivated ash is introduced into the concrete mixture, it increases the plasticity of such a mixture and at the same time the microfiller promotes the formation of a stronger contact zone by increasing the degree of crystal chemical similarity of tumors. Excessive amounts of ash in ash-containing materials lead to increased porosity and reduced rate of accumulation of strength over time, which impairs performance, including frost and corrosion resistance.*

*Large-scale use of phosphogypsum is hindered by its specific features: physical state, high humidity, the presence of phosphoric and sulfuric acid and water-soluble harmful compounds of phosphorus and fluorine. Therefore, before using phosphogypsum, it is necessary to remove or neutralize harmful impurities and reduce the concentration of acid residues. Harmful impurities can be bound and acid residues can be neutralized by adding quicklime to the solution. Lime simultaneously neutralizes acids and binds water-soluble harmful impurities. The most effective method of using phosphogypsum, fly ash and fine powders of steel sludge SHH-15 is the integrated use of such waste, resulting in a complex metal-ash-phosphate binder (MAPB).*

**Key words:** industrial waste; ash-takeaway; phosphogypsum; building materials; complex binder.

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

**Sivak Kateryna** - magister, Vinnitsia National Technical University, e-mail: lemishko.katya@gmail.com, ORCID: 0000-0002-5300-1707.

**Stadnychuk Maksym** - magister, Vinnitsia National Technical University, e-mail: b15.stadnychuk@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2660-4799.