

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

## СУЧАСНІ ПІДХОДИ КОМПЛЕКСНОЇ ПЕРЕРОБКИ ПРОМИСЛОВИХ ТЕХНОГЕННИХ ВІДХОДІВ

Вінницький національний технічний університет

*В даній статті наведена інформація про можливість комплексного використання фосфогіпсу, металевого шламу та червоного бокситового шламу при виготовленні будівельних виробів.*

*Загострення екологічної та економічної ситуації в Україні потребує необхідності в розробці нових ефективних технологій переробки та використання техногенних промислових відходів хімічної промисловості. Такі технології повинні забезпечити максимальну їх ступінь використання при виробництві будівельних виробів. Вибір технології підготовки, переробки та використання промислових відходів залежить від ряду факторів, а саме хіміко-мінералогічного, гранулометричного складу та способу їх 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 лише 10 - 12%.*

*Встановлено, що в умовах наявності відкритих відвалів фосфогіпсу та червоного бокситового шламу являються джерелом забруднення навколишніх територій.*

*Широкимасштабному використанню фосфогіпсу перешкоджають його специфічні особливості: наявність у його складі фосфорної і сірчаної кислоти та водорозчинних шкідливих сполук фосфору і фтору. Тому перед використанням фосфогіпсу потрібно нейтралізувати шкідливі домішки та зменшити концентрацію кислотних залишків. Найбільш ефективним методом використання фосфогіпсу, дрібнодисперсних порошків шламу сталі ШХ-15 та червоного бокситового шламу є комплексне використання таких відходів, в результаті чого можна отримати металофосфатне та металозолофосфатне в'язуче.*

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

### Вступ

Аналіз тенденцій світового розвитку галузі будівельних виробів свідчить про необхідність збільшення рівня використання бетонів для промислового, житлового та дорожнього будівництва. Широке впровадження бетонів у будівництві зумовлено його універсальними конструкційними та фізичними властивостями, які забезпечують високу міцність, вогнестійкість, здатність протистояти зовнішнім впливам та забезпечити довговічність зведених будівель і споруд.

Необхідність у сучасних будівельних матеріалах у практиці будівельного виробництва як для зведення нових високоякісних будівель та споруд, так і для ремонту та підвищення ефективності існуючої інфраструктури постійно зростає. Такі матеріали повинні характеризуватись високою функціональністю, енергоефективністю, екологічною чистотою, доступністю, довговічністю, бути економічно ефективними [1-4].

Головним завданням науковців будівельної галузі в наш час має бути впровадження нових прогресивних та економічних технологій при виробництві будівельних матеріалів з обов'язковим використанням вторинної та місцевої сировини. Також необхідно враховувати, що в сучасних умовах на перший план виходить розробка шляхів вирішення проблем забруднення навколишнього середовища багатотоннажними промисловими відходами ТЕС, екологічно небезпечними відходами хімічної промисловості (фосфогіпс, десульфогіпс, червоний бокситовий шлам) та побутовими відходами [5-7].

Загострення екологічної та економічної ситуації в Україні викликає необхідність в розробці нових ефективних технологій переробки та використання промислових техногенних відходів теплоенергетики, хімічної та металообробної промисловості в будівельній галузі. Такі технології повинні забезпечити максимальну їх ступінь використання при виробництві якісних ефективних будівельних виробів. Вибір технології підготовки, переробки та використання промислових відходів залежить від ряду факторів, а саме хіміко-мінералогічного, гранулометричного складу і способу їх 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 лише 10-12.

В Україні щорічно в результаті роботи ТЕЦ 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 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 шламів.

### Постановка задач досліджень і шляхи їх вирішення

**Мета роботи.** Узагальнити існуючі підходи утилізації фосфогіпсу, металевого шламу підшипникового виробництва, червоного бокситового шламу та запропонувати нові підходи використання промислових відходів в галузі будівельних виробів.

Покращення фізико-механічних властивостей будівельних виробів може вирішуватись технологічними прийомами - за рахунок комплексного використання хімічних і активних мінеральних добавок та активації вихідної сировини [8-10]. Для отримання хімічних та природних активних мінеральних добавок потрібні додаткові затрати на їх 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 [9].

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, що не перевищує 20 %.

Утилізація фосфогіпсу, золо-шлакових відходів та інших промислових відходів є однією із найбільш вагомих проблем комплексного використання таких техногенних відходів. Актуальність вирішення такої загальнодержавної проблеми обумовлена отриманням великою кількістю фосфогіпсу, червоного бокситового шламу на хімічних підприємствах, а також можливістю скорочення розробки природної сировини, зменшення площ під розміщення відвалів і шкідливої дії цих відходів на навколишнє середовище.

### Результати досліджень

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 1.

Таблиця 1

Хімічний склад фосфогіпсів ВО "Хімпром" м. Вінниця

ОСНОВНІ СКЛАДОВІ	ВМІСТ, % ПО МАСІ	
	фосфогіпсодигідрат	фосфогіпсопівгідрат
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 є матеріалом, який дуже легко стискається. При його стисканні відбувається зменшення пористості, витіснення вологи. Повна вологість фосфогіпсу складає приблизно 66 %. Максимальна молекулярна вологість складає 15-16 %.

Використання фосфогіпсу стримується, перш за все, через поширену інформації про високу концентрацію в його складі природних радіонуклідів, а після аварії на Чорнобильській АЕС це ще більше відштовхнуло дослідників і виробничників нашої країни від переробки та використання таких промислових відходів. Хоча Європейські країни та США використовують фосфорити та фосфогіпс з високим вмістом природних радіонуклідів для виготовлення будівельних виробів. В таблиці 2 приведено розподілення природних радіонуклідів у відходах різних країн .

Таблиця 2

**Розподілення природних радіонуклідів у промислових відходах різних країн [11]**

Матеріал	Країна	Питома активність, $C_{\text{эф}}$ , Бк/кг			
		Радій-226	Торій-232	Калій-40	Бк/кг
Фосфогіпс	Україна	38	8	196	65
	ФРН	600	5	110	616
	Великобританія	800	20	70	832
	США	1500	7	-	1509
	Польща	580	-	-	580-740
Фосфорит	Йорданія	707	48,6	39,8	774
Фосфогіпс	Україна	32,9	13,6	51	56,9

Українські підприємства, які десятки років використовували Кольські апатити і виробляли фосфорні добрива, накопичили відходи фосфогіпсів, які щодо радіаційної складової можна рахувати «екологічно чистими». Питома активність природних радіонуклідів фосфогіпсової сировини України в 10-14 разів нижча, ніж в зарубіжних країнах.

У відвалах хімічних підприємств за десятки років накопичені величезні обсяги цієї техногенної сировини. В умовах дефіциту енергетичних ресурсів, поступового вичерпання природної сировини, загострення екологічних проблем важливим напрямом у виробництві будівельних матеріалів і виробів, є їх переробка. Масштабне використання фосфогіпсових відходів у виробництві будівельних матеріалів дозволить докорінно поліпшити екологічну ситуацію.

Під час зберігання фосфогіпсу у відкритих відвалах протягом багатьох років значна частина шкідливих речовин вимивається дощовими водами та проникає в ґрунт. Тому зрозуміло, що проблема його використання є досить актуальна й важлива. Питання використання фосфогіпсу стає все більш актуальною з наступних причин [12]:

- тривалий час проблемі утилізації фосфогіпсу не приділялося належної уваги, що призвело до утворення величезних запасів фосфогіпсу;
- транспортування фосфогіпсу у відвали і його зберігання в них пов'язано з великим капіталовкладенням і експлуатаційними витратами;
- для створення відвалів фосфогіпсу доводиться відчужувати великі площі сільськогосподарських земель;
- зберігання фосфогіпсу у відвалах завдає шкоди навколишньому середовищу в результаті вимивання шкідливих речовин атмосферними опадами.

До основних напрямів утилізації фосфогіпсу можна віднести наступні групи способів його утилізації:

- безпосереднє використання фосфогіпсу, у вигляді низько марочного гіпсу;
- безвідходна термохімічна утилізація фосфогіпсу з отриманням сірчаної кислоти і негашеного вапна;
- використання фосфогіпсу для виробництва будівельних матеріалів і виробів;
- конверсійний спосіб утилізації фосфогіпсу на сульфат амонію і фосфокрейд;
- використання в якості пігменту, наповнювача паперу і гуми.

Широкомасштабному використанню фосфогіпсу в будівельній галузі перешкоджають його специфічні особливості: 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 [14]. 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.

Перед використанням фосфогіпсу потрібно вилучити або нейтралізувати шкідливі домішки та зменшити концентрацію кислотних залишків. Зменшити концентрацію залишків кислот у фосфогіпсі можна за рахунок відмивання. Відмивання фосфогіпсової сировини вимагає додаткових затрат та приводить до утворення нових видів відходів – кислих стоків, які необхідно утилізувати.

Нейтралізувати кислі залишки можна негашеним вапном. Кількість вапна підбирається з розрахунку витрат на нейтралізацію фосфогіпсу та додатково для підтримки високолузного 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  $CaF_2$  [12-14]. Послідує висушування при 140-170°C забезпечує отримання низькомарочного будівельного гіпсу. Однак така технологія передбачає використання високоенергоємної речовини - будівельного вапна лише для нейтралізації кислотних та шкідливих залишків. Необхідно зауважити, вартість вапна на теперішній час вища ніж вартість цементу, що нелогічно, оскільки цемент випалюється за температури 1450-1500 °C, а вапно – 1000-1200 °C, тому собівартість вапна мала б бути нижчою за рахунок використання меншої кількості енергетичних ресурсів.

Теоретично безвідходна утилізація фосфогіпсу досягається шляхом реалізації повного термічного розкладання сульфату кальцію до  $CaO$  і  $SO_2$ ,  $SO_2$  - переробляють на сірчану кислоту, а  $CaO$  можна використовувати у вигляді негашеного вапна або у складі клінкеру портландцементу. Недоліком такої технології є висока температура обробки, яка становить більше 1450 °C [15-16].

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 потрібна витратити значні енергетичні ресурси та виконувати попередню очистку фосфогіпса від шкідливих речовин.

Серед всієї сукупності можливих в'язучих речовин, перспективними, за твердженням Соломатова В. І., є безклінкерні металофосфатні в'язучі матеріали, основу яких складають оксиди та металофосфати. На основі фосфатних в'язучих (ФВ) уже отримані різні види високоєфективних жаростійких матеріалів, які характеризуються високою термостійкістю, значною міцністю та стійкістю до агресивних середовищ [17]. В таблиці 3 приведена Класифікація в'язучих речовин по системі Федорова М.Ф.

Таблиця 3

**Класифікація в'язучих речовин по хімічному складу, агрегатному стану, дисперсності (фрагмент системи Федорова М.Ф.)**

В'язучі із порошку оксидів, отримані на основі систем:	В'язучі із порошку солей і подібних солям з'єднань, отримані на основі систем:	В'язучі із порошку металів, отримані на основі систем:
Оксид – вода * (негашене вапно: $CaO+H_2O$ )	Сіль – вода * (портландцемент, гіпс, глиноземистий цемент: $Ca_2SiO_4+H_2O$ ; $CaOAl_2O_3+H_2O$ ; $CaSO_4 \cdot 0,5H_2O+H_2O$ )	МЕТАЛ – ВОДА *** $Al+H_2O$
Оксид – сіль * (магнезійний цемент: $MgO+MgCl_2$ )	Сіль – кислота ** ( $BaTiO_3+H_3PO_4$ )	МЕТАЛ – СІЛЬ ***
Оксид – кислота * (фосфатні цементи: $ZnO+H_3PO_4$ )	Сіль – сіль * (в'язучі речовини для зимового бетонування: $2CaO \cdot SiO_2+K_2CO_3$ ; $3CaO \cdot Al_2O_3+CaCl_2$ )	МЕТАЛ – КИСЛОТА *** (Fe, Co, Ca)+ $H_3PO_4$
Оксид – гідроокис *	СІЛЬ – ГІДРООКИС ***	МЕТАЛ - ГІДРООКИС * (Fe, Co)+ $LiOH(NaOH)$

Примітка. \*В'язучі на основі цих систем випускаються в промислових масштабах.

\*\*Експериментально встановлена наявність в'язучих властивостей.

\*\*\*Припускається, що композиції будуть проявляти в'язучі властивості.

Основним процесом при синтезі 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 металевго наповнювача, пасивуючи компоненти, які надмірно активно реагують.

По інтенсивності тверднення композиції типу "оксиди – ортофосфорна кислота" можна розділити на чотири групи [17-18]: твердіють тільки при нагріванні; тверднуть при температурі 20 – 25 °С; швидко твердіють; надмірно інтенсивно реагують.

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 компоувати в одній суміші різні оксиди, наприклад, CaO та FeO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> та FeO і т.п.

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 2×10-5м. 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 ППМ АН України приведений в таблиці 4, хімічний склад сталі ШХ-15 приведений в таблиці 5.

Таблиця 4

**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.

Таблиця 5

**Хімічний склад сталі ШХ-15 по ГОСТ 801-86**

Елемент	ВМІСТ %	Елемент	Вміст %
C	0,95 – 1,05	MN	0,20 – 0,40
Si	0,17 – 0,37	Ni	0,3<
S	0,02	Cr	1,30 – 1,65
P	0,027	CU	0,25 <
Fe	86,30 – 87,96	Zn	6,79 – 0,92
W	0,76 – 0,92	V	0,10 <
Pe	0,21 – 0,32	Mo	0,10

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 [19] 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 луѓи, 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 розшаровування і має підвищену рухливість при зниженій вологості.

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

З врахуванням вище наведеного теоретичного обґрунтування використання промислових відходів, авторами запропоновано та отримано 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 залізозміщуючого компонента	Середня густина зразків, кг/м <sup>3</sup>	Границя міцності при стиску, МПа
Відновлений металевий шлам Вінницького підшипникового заводу	1875	6,3
Відновлений металевий шлам + Зола-винос	1920	5,5
Відновлений металевий шлам + Зола-винос + Червоний бокситовий шлам	1980	6,8

Отримане комплексне в'язуче можна використовувати для виготовлення жаростійких бетонів. В якості оксидного компоненту в'язучого найбільш доцільно застосовувати залізозміщуючі 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 інтесифікації твердіння передбачається додавання в склад сумішей металозолофосфатного в'язучого природні мінеральні добавки Вінницького регіону. Після оптимізації рецептурно-технологічних факторів комплексного безклінкерного в'язучого планується вивчення спеціальних властивостей виробів, отриманих на основі нового в'язучого.

### Висновки

В результаті проведених 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.

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

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Demchyna, B., L. Vozniuk, and M. Surmai. "Scientific foundations of solving engineering tasks and problems." (2021).
2. Kalafat, K., L. Vakhitova, and V. Drizhd. "Technical research and development." International Science Group. – Boston : Primedia eLaunch, 616 p. (2021).
3. Sokolovskaya, O. "Scientific foundations of modern engineering/Sokolovskaya O., Ovsiannykova L. Stetsiuk V., etc– International Science Group." Boston: Primedia eLaunch 528 (2020).
4. Hnes, L., S. Kunytskyi, and S. Medvid. "Theoretical aspects of modern engineering." International Science Group: 356 p. (2020).
5. Boiko, T., et al. Theoretical foundations of engineering. Tasks and problems. Vol. 3. International Science Group, 2021.
6. Wójcik, Waldemar, and Małgorzata Pawłowska, eds. Biomass as Raw Material for the Production of Biofuels and Chemicals. Routledge, 2021.
7. 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.
8. 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.
9. Сердюк В.Р. Комплексне в'язуче з використанням мінеральних добавок та відходів виробництва / В.Р. Сердюк, М.С. Лемешев, О.В. Христин // Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка. Науково-технічний збірник. – 2009. – Випуск 33. – С. 57-62.
10. Баженов Ю.М. Ресурсосбережение в строительстве за счет применения побочных промышленных продуктов / Баженов Ю.М., Дворкин Л.И. – М.: ЦМИПКС, 1986. – 67 с.
11. Иваницкий В. В. Фосфогипс и его использование / Иваницкий В. В., Классен П. В., Новиков А. А., и др. - М.: Химия, 1990. – 222 с.
12. Сердюк В. Р. Сучасні підходи комплексної утилізації фосфогіпсу та золи-винос / В. Р. Сердюк, С. О. Сідлак // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2016. – №1. – С. 11-16.
13. Лемешев М. С. Особливості використання промислових техногенних відходів в галузі будівельних матеріалів / М. С. Лемешев, К. К. Сівак, М. Ю. Стаднійчук // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2020. – № 2 – С. 24-34.
14. 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.
15. Сердюк В.Р. Хімічна активація золи-винос для цементно-зольних композицій / Сердюк В.Р., Борецький О.Й., Амер Номан //Вісник ВПІ, №1 –1997р. – С.19-22.
16. Филин В. П. Использование в цементном производстве фосфогипса, полученного из фосфоритного сырья / Филин В.П., Нестерчук И.Т., Шевченко А.А. – Экология и промышленность. – №4 (5). – 2005. – С.54-56.
17. 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.
18. Чемоданов Д.И. Исследования в области новых вяжущих веществ, формирующих структуры твердения на основе реакций кислотного-основного взаимодействия: Автореф. дис. д-ра техн. наук.– Томск, 1973.– 48 с.
19. Бейшер В. В. Технологические особенности получения смешанного вяжущего на основе бокситового шлама : межвуз. сб. тр / В. В. Бейшер. – Ленинград : ЛИСИ, 1987. – № 2 (130). – С. 30-35.

## REFERENCES

1. Demchyna, B., L. Vozniuk, and M. Surmai. "Scientific foundations of solving engineering tasks and problems." (2021).
2. Kalafat, K., L. Vakhitova, and V. Drizhd. "Technical research and development." International Science Group. – Boston : Primedia eLaunch, 616 p. (2021).
3. Sokolovskaya, O. "Scientific foundations of modern engineering/Sokolovskaya O., Ovsiannykova L. Stetsiuk V., etc– International Science Group." Boston: Primedia eLaunch 528 (2020).
4. Hnes, L., S. Kunytskyi, and S. Medvid. "Theoretical aspects of modern engineering." International Science Group: 356 p. (2020).
5. Boiko, T., et al. Theoretical foundations of engineering. Tasks and problems. Vol. 3. International Science Group, 2021.
6. Wójcik, Waldemar, and Małgorzata Pawłowska, eds. Biomass as Raw Material for the Production of Biofuels and Chemicals. Routledge, 2021.
7. Serheev A.M. Nauchnye osnovy massovoho ispolzovaniya v stroitelstve otkhodov enerhetycheskoi promyshlennosti / A.M. Serheev // Новые материалы и технологии в промышленном и дорожном строительстве. – К.: Vyshcha shkola, 1990. – S. 167-216.
8. Cherviakov Yu.M. Vykorystannia hipsovmishchuiuchykh vidkhdiv promyslovosti v yakosti syrovyny pry vyrobnytstvi budivelnnykh materialiv i vyrobiv / Yu.M. Cherviakov, L.O. Suprun //Budivelni materialy, vyrobny ta sanitarna tekhnika. – 2013. – №. 48. – S. 60-63.
9. Serdiuk V.R. Kompleksne viazhuche z vykorystanniam mineralnykh dobavok ta vidkhdiv vyrobnytstva / V.R. Serdiuk, M.S. Lemeshev, O.V. Khrystych // Budivelni materialy, vyrobny ta sanitarna tekhnika. Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk. – 2009. – Vypusk 33. – S. 57-62.
10. Bazhenov Yu.M. Resursosberezhenye v stroitelstve za schet pryumeneniya pobochnykh promyshlennykh produktov / Bazhenov Yu.M., Dvorkyn L.Y. – М.: TsMYPKS, 1986. – 67 s.
11. Yvanytskiy V.V. Fosfohyps y eho ispolzovanye / Yvanytskiy V. V., Klassen P. V., Novykov A. A., y dr. - М.: Khymyia, 1990. – 222 с.

12. Serdiuk V. R. Suchasni pidkhody kompleksnoi utylizatsii fosfohipsu ta zoly-vynos / V. R. Serdiuk, S. O. Sidlak // Suchasni tekhnologii, materialy i konstruktсии v budivnytstvi. – 2016. – №1. – S. 11-16.
13. Lemeshev M. S. Osoblyvosti vykorystannia promyslovykh tekhnohenykh vidkhodiv v haluzi budivelnykh materialiv / M. S. Lemeshev, K. K. Sivak, M. Yu. Stadniichuk // Suchasni tekhnologii, materialy i konstruktсии v budivnytstvi. – 2020. – № 2 – S. 24-34.
14. Kamysov A.M. Utylyzatsiia fosfohipsya s poluchenym materiyala dlia proyzvodstva viazhuchykh / A.M. Kamysov, O.E. Leonova, Yu.A. Kononov. – Mezhdunarodnaia konferentsiia «Sotrudnychestvo dlia resheniia problemy otkhodov», 2008. – S.1-5.
15. Serdiuk V.R. Khimichna aktyvatsiia zoly-vynos dlia tsementno-zolnykh kompozytsii / Serdiuk V.R., Boretskyi O.I., Amer Noman //Visnyk VPI, №1 –1997r. – S.19-22.
16. Fylyn V. P. Yspolzovanye v tsementnom proyzvodstve fosfohipsya, poluchennoho yz fosforytnoho syria / Fylyn V.P., Nesterchuk Y.T., Shevchenko A.A. – Экология у промышлennost. – №4 (5). – 2005. – S.54-56.
17. Solomatov V.Y., Dudynov S.V., Fedortsov A.P. Oksyдно-kyslotnye viazhushchye u kompozyty na ykh osnove //Yzv. vuzov. Stroitelstvo.– 1995.– №4.– S. 41– 43.
18. Chemodanov D.Y. Yssledovaniya v oblasti novykh viazhushchykh veshchestv, formyruishchykh struktury tverdeniia na osnove reaktsyi kyslotno-osnovnoho vzaymodeistviya: Avtoref. dys. d-ra tekhn. nauk.– Tomsk, 1973.– 48 s.
19. Beisher V. V. Tekhnolohycheskye osobennosti polucheniya smeshannoho viazhushcheho na osnove boksytovoho shlama : mezhvuz. sb. tr / V. V. Beisher. – Lenenhrad : LYSY, 1987. – № 2 (130). – S. 30-35.

**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

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

## MODERN APPROACHES TO COMPLEX PROCESSING OF INDUSTRIAL MANAGEMENT WASTE

Vinnytsia National Technical University

*This article provides information on the possibility of integrated use of phosphogypsum, metal sludge and red bauxite sludge in the manufacture of construction products.*

*The aggravation of the ecological and economic situation in Ukraine requires the development of new efficient technologies for processing and use of man-made industrial waste from the chemical industry. Such technologies should ensure their maximum degree of use in the manufacture of construction products. The choice of technology for the preparation, processing and use of industrial waste depends on a number of factors, namely the 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 only 10 - 12%.*

*It has been established that in the presence of open dumps phosphogypsum and red bauxite sludge are a source of pollution of the surrounding areas.*

*Large-scale use of phosphogypsum is hampered by its specific features: the presence in its composition of phosphoric and sulfuric acid and water-soluble harmful compounds of phosphorus and fluorine. Therefore, before using phosphogypsum, it is necessary to neutralize harmful impurities and reduce the concentration of acid residues. The most effective method of using phosphogypsum, fine powders of sludge steel SHH-15 and red bauxite sludge is the integrated use of such waste, resulting in metal-phosphate and metal-ash-phosphate binder.*

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

**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