

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
**ВІСНИК ВІННИЦЬКОГО ПОЛІТЕХНІЧНОГО
ІНСТИТУТУ**

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ Заснований у 1993 році

4 (31) — 2000

АВТОМАТИКА ТА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА

- Кучерук В. Ю.** Ідентифікація внутрішніх параметрів роторного кола асинхронних машин за допомогою теорії чутливості5
- Бі.ишський й. й., Федун О. В.** Спосіб вимірювання показника заломлення на основі визначення критичної довжини хвилі 11

БУДІВНИЦТВО

- Кривенко П. В., Мохот М. А., Ковальчук Г. Ю.** Підбір складу жаростійкого лужного алюмосилікатного газобетону на основі золи-виносу 15
- Сердюк В. Р., Боднар П. С.** Математичне моделювання і оптимізація складу малоклінкерних в'язучих20
- Маматкулов А. М.** Шлаколужні тампонажні розчини24
- Моргун А. С.** Побудова функції впливу Гріна в задачі згину балки28
- Масвська І. В., Панкевич О. Д.** Дослідження плитних фундаментів з вирізами в плитній частині31

ЕКОНОМІКА, МЕНЕДЖМЕНТ ТА ЕКОЛОГІЯ

- Мороз О. В., Щеглова Н. В.** Проблеми та перспективи створення ефективної моделі менеджменту персоналу на вітчизняних підприємствах: фактор організаційної поведінки34
- Мокін В. Б.** Замкнута система оптимального управління якістю річкової води за критерієм мінімуму збитків39

ЕНЕРГЕТИКА ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

- Чепурний М. М., Бужинський В. В.** До розрахунків теплообміну в оребрених повітроохолодниках в умовах інеєутворення46
- Ткаченко С. Й., Степанов Д. В.** Мінімізація витрат ексергії на живлення біогазової установки енергією50
- Журахівський А. В., Кенс Ю. А., Равлик О. М., Засідкович Н. Р.**
Моделювання ферорезонансних процесів в мережах 35 кВ з трансформаторами напруги типу НАМИ-3556
- Брайловський Я. Л.** Теплопровідність контактних з'єднань низькотемпературних систем .. 61

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ МАЛОКЛІНКЕРНИХ В'ЯЖУЧИХ

Д. т. н., проф. Сердюк В. Р., асп. Боднар П. С.

Основними технологічними задачами розвитку бази будівельної індустрії на найближчу перспективу є зниження енерговитрат на виробництво будівельних матеріалів, заміна природних ресурсів великотонажними техногенними відходами з урахуванням вимог екологічної безпеки і створення бази будівельної індустрії в межах територіально-виробничих комплексів.

Із збільшенням індивідуального будівництва виникає потреба в дешевих малоенерго- містких будівельних матеріалах. Їх можна отримати, використовуючи побічні продукти виробництва.

У ВДТУ проводяться дослідження в цьому напрямку, розроблена технологія виробництва малоклінкерних композиційних в'язучих, які включають до 80 — 90 % різних відходів промисловості, не здатних до самостійного твердіння. До них відносять велико- тонажні відходи хімічної промисловості у вигляді фосфодвогідрату. Другим сировинним компонентом таких в'язучих є зола-винос, яка є багатотонажним відходом теплових електричних станцій (ТЕС).

Як вихідну сировину під час розробки фосфогіпсозольних в'язучих використовували фосфогіпс-двогідрат Вінницького хімічного комбінату і кислі золи Ладижинської ДРЕС, як місцеві активні мінеральні добавки.

Мета проведених досліджень — це розроблення технології отримання ефективного стінового матеріалу з максимальним використанням побічних продуктів виробництва, виключаючи додаткові енергоємкі технології підготовки сировинних компонентів. Саме такі матеріали, на наш погляд, доцільно використовувати в малоповерховому будівництві.

Як відомо, найперспективнішим напрямком використання фосфогіпсів в процесі виробництва будівельних матеріалів є технологія виробництва фоізола (фосфогіпс + зола +/- + вапно) [1]. Основним недоліком такої технології є те, що міцність виробів при зволоженні знижується через велику розчинність двогідрату. Міцність може бути забезпечена за рахунок заміни вапна цементом, який має здатність нарощувати міцність у водному середовищі, та раціонального підбору компонентів суміші, яка б передбачала використання активних мінеральних добавок поліфункційної дії.

Для збільшення швидкості та ступеня взаємодії активних компонентів золи необхідне руйнування або, як мінімум, порушення склоподібної оболонки зольних частинок. У більшості випадків на практиці використовують механічне руйнування склоподібних оболонок золи за допомогою додаткового розмелювання у млинах різних типів. Результати випробувань показують, що збільшення тонкості помелу приводить до значного збільшення активності золи [2].

В процесі розробки низькомарочних безвипалювальних в'язучих нами передбачається така технологічна схема, яка забезпечує руйнування склоподібних плівок на поверхні золи залишками кислот, що знаходяться у фосфогіпсі.

Для перевірки ефекту хімічної активації золи-виносу кислотними залишками фосфогіпсу були проведені дослідні, які передбачали обробку золи-виносу водною витяжкою із фосфогіпсу і подальшим випробовуванням золи.

Для проведення дослідження використали фосфогіпс в певних співвідношеннях. Із нього водою вимивали залишки кислот. При цьому кількість фосфогіпсу збільшувалася від 25 до 75 %, а кількість води зменшувалася від 75 до 25 % з урахуванням вологості вихідного фосфогіпсу. Із збільшенням кількості фосфогіпсу і зменшенні кількості води збільшувалася концентрація кислотних залишків у воді. Приймаючи постійне відношення води до твердої речовини (В/Т), проводили дослідження розпливу по Суттарду водозольних сумішей. В результаті виявлено, що зі збільшенням кількості концентрації кислотних залишків у воді розплив по Суттарду зменшувався від 16,1 до 12,2 см (рис. 1).

Оцінка розпливу суміші після витримування золи 40 хв. у водних витяжках фосфогіпсу підтверджує факт руйнування склоподібної оболонки золи, що проявляється в зменшенні текучості суспензії.

Ефект руйнування склоподібного покриття золи залишками кислот, що містяться у фосфогіпсі, свідчить про можливість підвищення гідралічної активності та доцільність її використання у складі малоклінкерних в'язучих.

Послідовність отримання в'язучого полягала в тому, що: підготовлені (фосфогіпс і зола) змішувались протягом 2–3 хвилин і витримувалися протягом 24 годин; в результаті взаємодії залишків кислот із золою рН середовища суміші збільшувалось з 3 до 5,7. На наступному етапі суміш фосфогіпсу та золи змішували з добавкою опокоподібного мергелю, в якому за рахунок карбонатної складової проходила глибша нейтралізація невикористаних кислот на активацію золи. На кінцевому етапі в суміш вводився цемент.

Для вивчення оптимальних складів композиційних в'язучих і окремих їх компонентів на міцність використовували методи математичного моделювання. З цією метою був реалізований план Бокса В₃ (з центральною точкою). В ньому проводилося 15 досліджень і визначалося 10 коефіцієнтів регресії (табл. 1) Прийнятий план дослідження трифакторний (на кубі 15 точок), D-оптимальний, симетричний [3–4]. В загальному модель такого плану має вигляд:

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_{11}X_1^2 + a_{22}X_2^2 + a_{33}X_3^2 + a_{12}X_{12} + a_{13}X_{13} + a_{23}X_{23}. \quad (1)$$

Таблиця 1

Коефіцієнти регресії

Y	Показники					
	В/Т	$\rho, \text{т/м}^3$	$R_{\text{зг}}, \text{МПа}$	$R_{\text{ст}}^a, \text{МПа}$	$R_{\text{ст}}^c, \text{МПа}$	K_p
a_0	0,184	1,536	3,6	12	10,49	0,866
a_1	0,008	-0,011	-0,44	-1,91	-1,78	-0,017
a_2	—	0,016	-0,2	-0,56	-0,59	—
a_3	0,021	0,056	-0,41	1,45	1,53	0,026
a_{11}	—	—	—	0,679	0,511	—
a_{22}	-0,005	—	-0,157	—	-0,839	-0,041
a_{33}	0,021	—	0,193	1,179	0,481	-0,056
a_{12}	-0,009	—	—	0,525	0,313	—
a_{13}	0,007	—	—	-0,5	-0,663	—
a_{23}	-0,008	-0,023	—	—	-0,488	-0,022
Se	0,005	0,023	0,204	0,705	0,54	0,035
F	1,91	1,836	1,89	1,85	2,23	1,9

Реалізація плану експерименту забезпечила результати за такими критеріями: В/Т — водотверде відношення; ρ — щільність зразків, т/м^3 ; $R_{\text{зг}}$ — міцність зразків на згин, МПа; $R_{\text{ст}}^a$ — міцність зразків на стиск, МПа; $R_{\text{ст}}^c$ — міцність зразків на стиск, після сушки, МПа; K_p — коефіцієнт розм'якшення. Отримані результати (таб. 2) були основою для побудови математичних моделей.

Результати досліджень

№ досл.	Показники					
	В/Т	ρ , т/м ³	$R_{\text{ст}}$, МПа	$R_{\text{ст}}^*$, МПа	$R_{\text{ст}}^c$, МПа	K_p
1	0,230	1,605	2,8	9,3	12,6	0,738
2	0,225	1,577	3,5	13,2	15,9	0,830
3	0,265	1,591	2,6	10,4	13,3	0,781
4	0,191	1,486	3,5	8,5	11,4	0,745
5	0,182	1,466	3,8	7,7	10,9	0,706
6	0,203	1,558	4,3	9,8	12,4	0,790
7	0,210	1,612	3,8	15,6	18,4	0,847
8	0,171	1,413	4,6	10,2	14,3	0,713
9	0,192	1,467	3,1	8,7	10	0,870
10	0,176	1,567	4	13,6	16,3	0,834
11	0,189	1,552	2,9	8,4	11,3	0,743
12	0,194	1,539	4,2	11,2	12,3	0,910
13	0,222	1,584	3,6	12,6	15,3	0,823
14	0,194	1,488	4,2	9,6	12	0,800
15	0,180	1,53	3,5	9,9	11,1	0,891

Як незалежні змінні фактори прийняли вміст фосфогіпсу X_1 , золи винос X_2 і склоподібного мергелю X_3 . При цьому були стабілізовані наступні фактори: вміст цементу, кількість якого складає одну частку; рухливість суміші; час нейтралізації фосфогіпсу, який складає 16–18 годин; час інтенсивного перемішування після нейтралізації з добавкою склоподібного мергелю і цементу; час витримки до пропарки 24 години; режим пропарки ($t = 80^\circ\text{C}$; 4 + 8 + 4 години).

При проведенні дослідів забезпечувалися стабільні реологічні властивості розчину. Рухливість розчину відповідала 60–70 мм по циліндру Суттарда. При цьому В/Т відношення змінювалося в межах 0,17–0,26. Із суміші формували зразки розміром 4×4×16 см, з використанням струшуючого столика. Час струшування зразків складав 30 с. Випробовування зразків проводилися після закінчення пропарки через 3 доби, після установки рівноваги вологості зразків, або після сушки.

У результаті статистичної обробки експериментальних даних отримано рівняння регресії міцності на стиск:

$$R_{\text{ст}} = 10,491 - 1,78X_1 + 0,511X_1^2 + 0,313X_1X_2 - 0,663X_1X_3 - 0,59X_2 - 0,839X_2^2 - 0,488X_2X_3 + 1,53X_3 + 0,461X_3^2. \quad (2)$$

Як видно із рівняння регресії, найбільш значним фактором, який впливає на вихід функції (міцності), є мергель. Значення коефіцієнта при факторі X_3 (мергелю) дорівнює 1,53, а добавка фосфогіпсу негативно впливає на міцність (коеф. регр. = - 1,78). На рис. 3 це підтверджується ізолініями на поверхні куба.

На основі даних табл. 2 в процесі математичного моделювання були побудовані ізоповерхні для таких характеристик: водотвердого відношення (В/Т) та межі міцності на стиск.

Розглядаючи ізоповерхні (рис. 2, рис. 3), можна проаналізувати залежність даних характеристик від вмісту компонентів: фосфогіпсу, золи та мергелю. Водотверде відношення суміші (див. рис. 2) залежить від виду використаного матеріалу. В даному випадку зі збільшенням вмісту опокоподібного мергелю збільшується водопотреба суміші для досягнення однакової рухливості. Мінімальне значення водотвердого відношення досягається за умови відсутності мергелю та мінімального вмісту фосфогіпсу.

Зі збільшенням кількості води в складі суміші зменшується щільність та міцність матеріалу. Більше всього впливає на збільшення В/Т добавка опокоподібного мергелю.

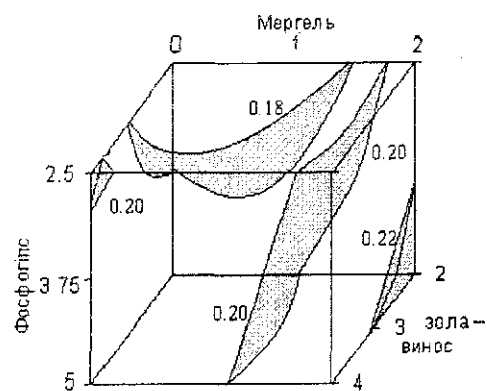


Рис. 2. Ізоповхні фосфогіпсового композиту водотвердого відношення

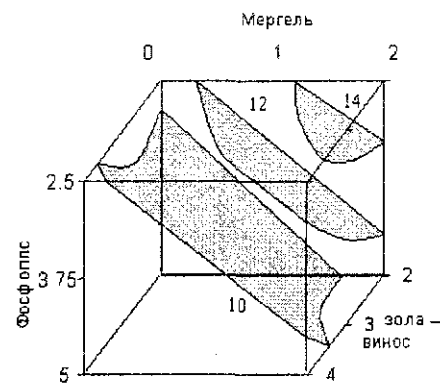


Рис. 3. Ізоповхні фосфогіпсового композиту міцності на стиск $R_{ст}$, МПа

Добавка фосфогіпсу через його високу вологість приводить до збільшення В/Т суміші і знижує міцність виробів на стиск та згинання, забезпечуючи незначне зниження коефіцієнта розм'якшення.

Із цього випливає, що фосфогіпс з відносно великими добавками не володіє ефективними властивостями в'язучого та має низький показник міцності, як наповнювач, знижуючи каркасну міцність матеріалу.

Вплив опокоподібного мергелю як активної мінеральної добавки має свої властивості. З рис. 3 видно, що із збільшенням кількості мергелю міцність зразків збільшується. Максимальна міцність виробів 15,6 МПа (досл. № 7, табл. 2) досягається з максимальною кількістю мергелю $X_3 = 2$ та мінімальною кількістю фосфогіпсу $X_1 = 2,5$ (рис. 3).

Отже, збільшення кількості фосфогіпсу зменшує міцність зразків на стиск, а опокоподібний мергель як добавка збільшує міцність на всій ділянці його використання ($X_3 = 0-2$). Зола-винос практично не впливає на міцність на всьому проміжку ($X_2 = 2-4$).

Висновки

1. Розроблена технологія отримання в'язучого на основі використання відходів промисловості, а саме фосфогіпсу та золи-винос, яка дозволяє забезпечити зниження енерговитрат та отримувати в'язуче з такими характеристиками: щільністю — $1,6 \div 1,8 \text{ т/м}^3$, міцністю на згин — $2,8 \div 3,8 \text{ МПа}$, міцністю на стиск — $7,7 \div 15,6 \text{ МПа}$, коефіцієнтом розм'якшення — $0,71 \div 0,85$.

2. В результаті математичної обробки експериментальних даних отримано рівняння регресії міцності на стиск, яке дозволяє варіювати в певних межах складовими компонентами в'язучого та прогнозувати будівельні вироби із заданими фізико-механічними властивостями.

ЛІТЕРАТУРА

1. Сердюк В. Р., Майх Мызхер. Фосфогипсовые отходы в производстве ячеистого бетона // Строительные материалы и конструкции. — 1993. — № 2. — С. 27—28.
2. Гольштейн П. Я., Штейнберг Н. П. Использование топливных зол и шлаков в производстве цемента. — Л.: Стройиздат, 1977. — 150 с.
3. Вознесенский В. А., Ляшко Т. В., Огурков Б. Л. Численные методы решения строительно-технологических задач на ЭВМ. — Киев: Вища школа, 1989. — 328 с.
4. Вознесенский В. А., Выровой В. И., Керш В. Я., Ляшко Т. В. и др. Современные методы оптимизации композиционных материалов. — Киев: Будівельник, 1983. — 140 с.

Рекомендована кафедрою менеджменту організацій

Надійшла до редакції 19.10. 1999 р.

Рекомендована до опублікування 7. 12. 1999 р.

Сердюк Василь Романович — завідувач кафедри менеджменту організацій ВДТУ,
Боднар Павло Степанович — аспірант кафедри менеджменту організацій ВДТУ.