

Міністерство освіти і науки України

Національний університет водного господарства та
природокористування

Кафедра технології будівельних виробів і
матеріалознавства

03-09-153М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт з дисципліни
«Будівельні матеріали з промислових відходів»
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня
за освітньо-професійною програмою
«Будівництво та цивільна інженерія»
спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»
денної та заочної форми навчання

Рекомендовано
науково-методичною радою
з якості ННІБА
Протокол № 5 від 11.02. 2025 р.

Рівне – 2025

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Будівельні матеріали з промислових відходів» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Будівництво та цивільна інженерія» спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» денної та заочної форми навчання. [Електронне видання] / Ніхаєва Л. І. – Рівне : НУВГП, 2025 – 29 с.

Укладач: Ніхаєва Л. І. старший викладач кафедри технології будівельних виробів і матеріалознавства.

Відповідальний за випуск: Дворкін Л. Й., д-р техн. наук., професор, завідувач кафедри технології будівельних виробів та матеріалознавства.

Керівник групи забезпечення спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»

Караван В. В.

© Л. І. Ніхаєва, 2025
© НУВГП, 2025

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1. Лабораторна робота №1. Визначення фізико-механічних властивостей дрібнозернистих бетонів на основі гранітних відсівів	5
2. Лабораторна робота №2. Визначення фізико-механічних властивостей гарячих асфальтових бетонів на основі гранітних відсівів та вапняно-карбонатного пилу	7
3. Лабораторна робота №3. Визначення фізико-механічних властивостей поризованих розчинів на основі золівмістних цементів низької водо потреби	10
4. Лабораторна робота №4. Визначення фізико-механічних властивостей бетонів на малоклінкерному шлакопортландцементі	13
5. Лабораторна робота №5. Визначення фізико-механічних властивостей вібропресованих гіпсобетонних виробів на основі фосфогіпсу	16
6. Лабораторна робота №6. Визначення фізико-механічних властивостей гіпсо-пінополістирол бетону	19
7. Лабораторна робота №7. Визначення фізико-механічних властивостей бетонів на основі сульфатно-шлакових в'язучих	21
8. Лабораторна робота №8. Визначення фізико-механічних властивостей гіпсових в'язучих на основі фосфогіпсу	25
Список використаної літератури	28

ВСТУП

Раціональне використання природних ресурсів у даний час вимагає розробки ефективних безвідходних технологій за рахунок комплексного використання сировини, що одночасно призводить і до ліквідації величезного екологічного збитку від «цвинтарів» відходів.

Використання промислових відходів щільно пов'язане з питаннями охорони довкілля та ресурсозбереження. Утилізація відходів в Україні здійснюється згідно з законами України "Про відходи" та "Про загальнодержавну програму поводження з токсичними відходами", причому основними пріоритетами цієї діяльності є скорочення обсягів накопичення відходів, обмеження утворення, ефективна переробка та екологічно безпечне їх видалення.

Актуальною задачею сьогодення є створення безвідходних технологій, які повинні забезпечувати не тільки отримання високоякісної продукції, але й передбачати повне використання відходів, що утворюються на всіх етапах технологічного циклу.

Найбільш раціональним напрямком утилізації промислових відходів є їх використання як техногенної сировини для отримання різних видів продукції а перш за все, будівельного призначення.

Використання промислових відходів забезпечує галузь будівельних матеріалів багатим джерелом дешевої, а іноді вже частково підготовленої сировини, сприяє вивільненню значних площ земельних ділянок та зниженню ступеня забруднення довкілля. Використання промислових відходів у виробництві будівельних матеріалів дозволяє до 40 % задовольнити потребу в сировині цієї галузі, на 10...30 % знизити витрати на виробництво будівельних матеріалів у порівнянні з виробництвом їх із природної сировини, при цьому економія капітальних вкладень складає 35...50%.

В методичних вказівках викладені лабораторні роботи з вивчення фізико-механічних властивостей будівельних матеріалів на основі промислових відходів, що винайдені і розроблені на кафедрі ТБВіМ НУВГП за останні п'ять років досліджень та захищені патентами України.

В лабораторних роботах передбачені елементи наукових досліджень, що ґрунтуються на стандартних випробуваннях будівельних матеріалів.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

Визначення фізико-механічних властивостей дрібнозернистих бетонів на основі гранітних відсівів

1.1. Мета роботи

Дослідити вплив двох основних технологічних факторів виготовлення дрібнозернистого бетону із надщільним зерновим складом: X_1 – витрат цементу, кг/м^3 та X_2 – витрат пластифікатора SR-2, л/м^3 на його міцність при стиску у віці 28 діб нормального твердіння та середню густину.

1.2. Обладнання і матеріали

Прес гідравлічний 50-тонний. Камера нормального твердіння. Металічні розбірні форми 100x100x100 мм. Вібромайданчик. Портландцемент марки М500 другої групи, пластифікатор SR-2. Гранітний відсів надщільного зернового складу. Чаші для замішування бетонної суміші. Сита для просіювання піску.

1.3. Планування експерименту

Таблиця 1.1.

Умови планування експерименту

технологічні фактори		рівні варіювання			крок варіювання
натуральні	кодов.	-1	0	+1	
1	2	3	4	5	6
Витрата цементу, Ц, кг/м^3	X_1	350	400	450	50
Витрата пластифікатора SR-2, л/м^3	X_2	5	4	3	1

Таблиця 1.2

Матриця планування експерименту

точки плану	матриця планування		натуральні технологічні фактори	
	X_1	X_2	Ц, кг/м^3 (X_1)	Д, л/м^3 (X_2)
1	+1	+1	450	3
2	+1	-1	450	5
3	-1	+1	350	3
4	-1	-1	350	5
5	+1	0	450	4
6	-1	0	350	4
7	0	+1	400	3

Продовження табл.1.2

1	2	3	4	5
8	0	-1	400	5
9	0	0	400	4
10	0	0	400	4
11	0	0	400	4

1.4. Порядок виконання роботи

1. Підгрупа студентів поділяється на чотири бригади.
2. Підгрупа занотовує в робочий зошит умови планування і матрицю двохфакторного експерименту, що задає викладач.
3. Кожна бригада виконує по два заміси дрібнозернистого бетону, об'ємом по одному літру на протязі 5 хв.
4. Бригади ущільнюють отримані зразки бетонних сумішей у металічних формах на вібромайданчику протягом трьох хвилин кожний.
5. Виготовлені бетонні зразки-кубики розміром 100x100x100 мм розміщуються у камері нормального твердіння на 1 добу.
6. Через добу твердіння бетонні зразки розпалублюють та зберігають у камері нормального твердіння 7 діб.
7. У віці 7 діб визначають середні густини бетонних зразків та випробовують на стиск під пресом та перераховують їх міцність на 28 діб за логарифмічною залежністю – табл.1.3.

Таблиця 1.3.

Результати лабораторних випробувань дрібнозернистого бетону

точки плану	натуральні техн. фактори		вихідні параметри	
	Ц, кг/м ³ (X ₁)	Д, л/м ³ (X ₂)	середня густина, кг/м ³	міцність при стиску, МПа
1	450	3		
2	450	5		
3	350	3		
4	350	5		
5	450	4		
6	350	4		
7	400	3		
8	400	5		

Продовження табл.1.3

1	2	3	4	5
9	400	4		
10	400	4		
11	400	4		

1.5. Обробка результатів

1. При допомозі спеціальних програм кафедри ТБВіМ із використанням отриманих експериментальних даних – табл.1.3. будуються дві повно-квадратичні регресійні моделі міцності на стиск та середньої густини дослідженого бетону від двох технологічних факторів його виготовлення.
2. За отриманими регресійними рівняннями при допомозі персонального комп'ютера будуються два графіки ізоліній: міцності при стиску та середньої густини від витрат цементу та витрат пластифікатора.
3. Графо-аналітичним способом за побудованими графіками ізоліній визначається множина марок бетону із їх технологічними параметрами.

1.6. Висновки

На підставі множини варіантів дослідженого дрібнозернистого бетону надщільного зернового складу вишуковуються економічно доцільні варіанти його виробництва.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

Визначення фізико-механічних властивостей гарячих асфальтових бетонів на основі гранітних відсівів та вапняно-карбонатного пилу

2.1. Мета роботи

Дослідити вплив двох основних технологічних факторів виготовлення дрібнозернистого гарячого асфальтового бетону: X_1 – витрат бітуму – БНД 60/90, % та X_2 – витрат вапняно-карбонатного пилу, % від маси мінеральної частини на його міцність при стиску у віці 2 діб твердіння на повітрі при температурі 20⁰ С та на середню густину зразків-циліндрів.

2.2. Обладнання і матеріали

Прес гідравлічний 10-тонний. Сушильна шафа. Металічна прес-форма 70x160 мм. Бітум БНД 60/90. Вапняно-карбонатний пил Любомирського вапняно-силікатного заводу – негашений. Гранітний відсів надщільного зернового складу. Чаші для замішування асфальтобетонної суміші. Сита для просіювання піщаного відсіву.

2.3. Планування експерименту

Таблиця 2.1.

Умови планування експерименту

технологічні фактори		рівні варіювання			крок варіювання
натуральні	кодов.	-1	0	+1	
1	2	3	4	5	6
Витрата бітуму БНД 60/90, % від маси мінеральної частини	X ₁	5,0	6,0	7,0	1,0
Витрата вапняно-карбонатного пилу (ВКП), % від маси мінеральної частини	X ₂	0	8	12	4,0

Таблиця 2.2

Матриця планування експерименту

точки плану	матриця планування		натуральні технологічні фактори	
	X ₁	X ₂	БНД-60/90,% (X ₁)	ВКП,% (X ₂)
1	2	3	4	5
1	+1	+1	7,0	12
2	+1	-1	7,0	0
3	-1	+1	5,0	12
4	-1	-1	5,0	0
5	+1	0	7,0	8
6	-1	0	5,0	8
7	0	+1	6,0	12
8	0	-1	6,0	0

Продовження табл.2.2

1	2	3	4	5
9	0	0	6,0	8,0
10	0	0	6,0	8,0
11	0	0	6,0	8,0

2.4. Порядок виконання роботи

1. Підгрупа студентів поділяється на чотири бригади.
2. Підгрупа занотовує в робочий зошит умови планування і матрицю двохфакторного експерименту, що задає викладач.
3. Кожна бригада виконує по два зразка гарячого дрібнозернистого асфальтобетону при робочій температурі 160⁰С, розміром 70х70 мм.
4. Бригади зберігають отримані зразки асфальтового бетону на повітрі при температурі 20⁰С протягом 48 годин.
5. Через дві доби твердіння асфальтобетонних зразків на повітрі при температурі 20⁰С визначають їх середні густини та випробовують під пресом на стиск.

2.5. Обробка результатів

1. При допомозі спеціальних програм кафедри ТБВіМ із використанням отриманих експериментальних даних – табл. 2.3 будуються дві повно-квадратичні регресійні моделі міцності на стиск та середньої густини дослідженого гарячого асфальтового бетону від двох технологічних факторів його виготовлення – X_1 та X_2 .

Таблиця 2.3

Результати лабораторних випробувань

точки плану	натуральні техн. фактори		вихідні параметри	
	БНД-60/90,% (X_1)	ВКП,% (X_2)	середня густина, кг/м ³	міцність при стиску, МПа
1	2	3	4	5
1	7,0	12		
2	7,0	0		
3	5,0	12		
4	5,0	0		
5	7,0	8		
6	5,0	8		
7	6,0	12		

Продовження табл.2.3

1	2	3	4	5
8	6,0	0		
9	6,0	8,0		
10	6,0	8,0		
11	6,0	8,0		

2. За отриманими регресійними рівняннями при допомозі персонального комп'ютера будуються два графіки ізоліній: міцності при стиску та середньої густини від витрат бітуму та витрат вапняно-карбонатного пилю негашеного.

3. Графо-аналітичним способом за побудованими графіками ізоліній визначається множина марок гарячого асфальтового бетону за міцністю при стиску із їх технологічними факторами.

2.6. Висновки

На підставі вишуканої множини варіантів марок виготовлення дослідженого гарячого дрібнозернистого асфальтобетону за міцністю його на стиск у віці 2 діб твердіння на повітрі вишукуються економічно доцільні варіанти його виробництва.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

Визначення фізико-механічних властивостей поризованих розчинів на основі золовмістних цементів низької водопотреби.

3.1. Мета роботи

Дослідити вплив двох основних технологічних факторів виготовлення поризованого розчину: X_1 – відношення в'язучого до заповнювача (золи) та X_2 – вмісту добавки Ufapore у розчині, % від сухої будівельної суміші (СБС) при постійному вмісті CaCl_2 - 1,5% від ВНВ та постійному вмісті суперпластифікатора полікарбоксилатного типу Sika VC125 – 0,5% від СБС на його міцність при стиску у віці 7 діб комбінованого твердіння (3 доби при нормальних умовах та 4 доби на повітрі) та на середню густину.

3.2. Обладнання і матеріали

Прес гідравлічний 10-тонний. Камера нормального твердіння. Металічні розбірні форми 40x40x160 мм. Чаші для замішування розчинової суміші. Сита пісчані. Портландцемент марки М500

другої групи. Зола виносу Бурштинської ТЕС. Розчин CaCl_2 . Суперпластифікатор Sika VC125. Повітрязатягуюча добавка Ufapore. Кварцовий пісок Славутського кар'єру.

3.3. Планування експерименту

Таблиця 3.1.

Умови планування експерименту

технологічні фактори		рівні варіювання			крок варіювання
натуральні	кодов.	3	4	5	
1	2	3	4	5	6
Відношення в'язучого до золи, В'яз/Зол.	X_1	1:3	1:2	1:1	1
Вмісту добавки Ufapore у розчині, % від сухої будівельної суміші (СБС)	X_2	0,04	0,075	0,11	0,035

Таблиця 3.2

Матриця планування експерименту

точки плану	матриця планування		натуральні фактори	технологічні фактори
	В'яз/Зо л X_1	Вмісту Ufapore, % X_2	В'яз/Золи (X_1)	Вміст Ufapore у розчині, % від (СБС) (X_2)
1	2	3	4	5
1	+1	+1	1:1	0,11
2	+1	-1	1:1	0,04
3	-1	+1	1:3	0,11
4	-1	-1	1:3	0,04
5	+1	0	1:1	0,075
6	-1	0	1:3	0,075
7	0	+1	1:2	0,11
8	0	-1	1:2	0,04
9	0	0	1:2	0,075
10	0	0	1:2	0,075
11	0	0	1:2	0,075

3.4. Порядок виконання роботи

1. Підгрупа студентів поділяється на чотири бригади.
2. Підгрупа занотує в робочий зошит умови планування і матрицю двох-факторного експерименту, що задає викладач.
3. Кожна бригада виконує по два заміси поризованого розчину, об'ємом на дві балочки розміром 40x40x160 мм.
4. Виготовлені розчинні зразки-балки розміром розміщуються у камері нормального твердіння на 1 добу.
5. Через добу твердіння бетонні зразки розпалублюють та зберігають у камері нормального твердіння ще 2 доби.
6. Четверту – сьому доби розчинні балки зберігаються на повітрі.
7. Після 7-ї доби комбінованого твердіння балки випробовують на середню густину та на стиск під пресом, а результати заносять в табл.3.3

Таблиця 3.3

Результати лабораторних випробувань

точки плану	натуральні техн. фактори		вихідні параметри	
	В'яз/Золи (X ₁)	Вміст Ufapore, % від (СБС) (X ₂)	середня густина, кг/м ³	міцність при стиску, МПа
1	1:1	0,11		
2	1:1	0,04		
3	1:3	0,11		
4	1:3	0,04		
5	1:1	0,075		
6	1:3	0,075		
7	1:2	0,11		
8	1:2	0,04		
9	1:2	0,075		
10	1:2	0,075		
11	1:2	0,075		

3.5. Обробка результатів

1. При допомозі спеціальних програм кафедри ТБВіМ із використанням отриманих експериментальних даних (табл.3.3) будуються дві повно-квадратичні регресійні моделі міцності на

стиск та середньої густини дослідженого поризованого розчину від двох технологічних факторів його виготовлення – X_1 та X_2 .

2. За отриманими регресійними рівняннями при допомозі комп'ютера будуються два графіки ізоліній: міцності при стиску та середньої густини від X_1 та X_2 .

3. Графо-аналітичним способом за побудованими графіками ізоліній визначається множина марок поризованого розчину за міцністю при стиску на 7 добу із їх технологічними факторами.

3.6. Висновки

Вишукуються економічно доцільні варіанти виробництва розробленого поризованого розчину вишуканих марок.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

Визначення фізико-механічних властивостей бетонів на малоклінкерному шлакопортландцементі

4.1. Мета роботи

Дослідити комплексний вплив на міцність бетону, виготовленого на основі мало-клінкерного шлакопортландцементу (МШПЦ) X_1 – витрати цементу, кг/м^3 та X_2 - витрати добавки суперпластифікатора С-3 при відомому значенні водопотреби і заданій рухомості бетонної суміші. Заміси бетонної суміші виконуються на однаковому в'язучому наступного складу: клінкер – 12%, шлак доменний гранульований – 88%, фосфогіпс – 7,5% (SO_3 – 4,5%) при активності в'язучого 48 МПа з питомою поверхнею $5534 \text{ см}^2/\text{г}$. Рухомість бетонної суміші у всіх точках плану складала 7 – 13 см.

4.2. Обладнання і матеріали

Прес гідравлічний 50-тонний. Вібромайданчик. Ваги цифрові. Чаші для замішування бетонної суміші. Сита пісчані. Сита щєбєневі. Камера нормального твердіння. Металічні розбірні форми $10 \times 10 \times 10$ см. Малоклінкерний шлакопортландцемент (МШПЦ) марки М500. Пластифікатор С-3. Гранітний щєбінь, фракцій 20-15, 15-10, 10-5 мм. Пісок кварцовий з модулем крупності $M_{кр.}=2,3$.

4.3. Планування експерименту

Таблиця 4.1.

Умови планування експерименту

технологічні фактори		рівні варіювання			крок варіювання
натуральні	кодов.	-1	0	+1	
1	2	3	4	5	6
Витрата МКШП, кг/м ³	X ₁	300	400	500	100
Витрата пластифікатора С-3, % МКШП	X ₂	0	0,3	0,6	0,3

Таблиця 4.2

Матриця планування експерименту

точка плану	матриця планування		натуральні технологічні фактори	
	X ₁	X ₂	Витрата МКШП, кг/м ³ (X ₁)	Витрата пластифікатора С-3, % (X ₂)
1	2	3	4	5
1	+1	+1	500	0,6
2	+1	-1	500	0
3	-1	+1	300	0,6
4	-1	-1	300	0
5	+1	0	500	0,3
6	-1	0	300	0,3
7	0	+1	400	0,6
8	0	-1	400	0
9	0	0	400	0,3
10	0	0	400	0,3
11	0	0	400	0,3

4.4. Порядок виконання роботи

1. Підгрупа студентів поділяється на чотири бригади.
2. Підгрупа занотує в робочий зошит умови планування і матрицю двох-факторного експерименту, що задає викладач.
3. Кожна бригада виконує по два заміси дрібнозернистого бетону, об'ємом по одному літру на протязі 5 хв.

4. Бригади ущільнюють отримані зразки бетонних сумішей у металічних формах на вібромайданчику протягом трьох хвилин кожний.
5. Виготовлені бетонні зразки-кубики розміром 10x10x10 см розміщуються у камері нормального твердіння на 1 добу.
6. Через добу твердіння бетонні зразки розпалублюють та зберігають у камері нормального твердіння 6 діб.
7. На 7 добу бетонні зразки випробовують на стиск під пресом та визначають їх середні густини – табл.4.3.

Таблиця 4.3

Результати лабораторних випробувань

точки плану	натуральні техн. фактори		вихідні параметри	
	Витрата МКШП, кг/м ³ (X ₁)	Витрата пластифікатора С-3, % (X ₂)	середня густина, кг/м ³	міцність при стиску, МПа
1	2	3	4	5
1	500	0,6		
2	500	0		
3	300	0,6		
4	300	0		
5	500	0,3		
6	300	0,3		
7	400	0,6		
8	400	0		
9	400	0,3		
10	400	0,3		
11	400	0,3		

4.5. Обробка результатів

1. На підставі отриманих експериментальних даних (табл.4.3) будуються дві повно-квадратичні регресійні моделі міцності на стиск та середньої густини дослідженого бетону від двох технологічних факторів його виготовлення.
2. За отриманими регресійними рівняннями при допомозі персонального комп'ютера будуються два графіки ізоліній: міцності при стиску та середньої густини від витрат цементу та витрат пластифікатора.
3. Графо-аналітичним способом за графіками

ізоліній визначається множина марок бетону із технологічними факторами їх виготовлення, що заноситься в таблицю.

4.6. Висновки

На підставі множини варіантів виготовлення даного бетону вишуковуються економічно доцільні варіанти його виробництва за економічними критеріями.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5

Визначення фізико-механічних властивостей вібропресованих гіпсобетонних виробів на основі фосфогіпсу

5.1. Мета роботи

Визначити вплив двох технологічних факторів виготовлення вібропресованих гіпсобетонних виробів: X_1 - водо-гіпсового відношення – В/ФВ $G = 0,15; 0,25; 0,35$ та X_2 – масової частки заповнювача в суміші заповнювача з фосфогіпсовим в'язучим - ФВГ: $3/(3+ФВГ-2) = 0; 0,3; 0,6$ на міцність при стиску і середню густину вібропресованих гіпсобетонних зразків у висушеному стані після 2 годин твердіння на повітрі.

5.2. Обладнання і матеріали

Лабораторний вібромайданчик з частотою коливань 50 Гц, амплітудою 0,5 мм. Прес-форма діаметром 5 см і висотою 16 см з плунжером. Привантаження масою 3,5 кг, що створює тиск 0,06 МПа на протязі 15 секунд. Прес гідравлічний 10-тонний. Сушильна шафа. Фосфогіпсове в'язуче – ФВГ-2, отримане шляхом варіння в гіпсо-варильному котлі при температурі 160⁰С на протязі 2 годин. Дуже дрібний кварцовий пісок з модулем крупності $M_{кр}=1,2$;

5.3. Планування експерименту

Таблиця 5.1.

Умови планування експерименту

технологічні фактори		рівні варіювання			крок варіювання
натуральні	кодов.	-1	0	+1	
1	2	3	4	5	6
Водо-гіпсове відношення, В/ФВГ	X_1	0,15	0,25	0,35	0,1
$3/(3+ФВГ-2)$	X_2	0	0,3	0,6	0,3

Таблиця 5.2

Матриця планування експерименту

точки плану	матриця планування		натуральні технологічні фактори	
	X ₁	X ₂	В/ФВГ, (X ₁)	З/(З+ФВГ) (X ₂)
1	2	3	4	5
1	+1	+1	0,35	0,6
2	+1	-1	0,35	0
3	-1	+1	0,15	0,6
4	-1	-1	0,15	0
5	+1	0	0,35	0,3
6	-1	0	0,15	0,3
7	0	+1	0,25	0,6
8	0	-1	0,25	0
9	0	0	0,25	0,3
10	0	0	0,25	0,3
11	0	0	0,25	0,3

5.4. Порядок виконання роботи

1. Підгрупа студентів поділяється на чотири бригади.
2. Підгрупа занотує в робочий зошит умови планування і матрицю двох-факторного експерименту, що задає викладач.
3. Кожна бригада виконує по два заміси гіпсо-піщаного бетону та формує на вібромайданчику два вібро-пресованих циліндри $d=h=50$ мм.
4. Виготовлені гіпсобетонні зразки-циліндри витримують на повітрі 2 години при $t=20\pm 2^{\circ}\text{C}$, а потім висушують у сушильній шафі до постійної маси при температурі $55-60^{\circ}\text{C}$.
5. Висушені гіпсобетонні зразки-циліндри зважують, визначають їх об'єми і розраховують їх середні густини.
6. Висушені гіпсобетонні зразки-циліндри випробовують на стиск під пресом та розраховують їх границі міцності при стиску.
7. Результати випробувань висушених вібропресованих гіпсобетонних зразків заносять в таблицю матриці виконання експерименту у якості двох вихідних параметрів - табл.5.3.

Таблиця 5.3

Результати лабораторних випробувань

точки плану	техн. фактори		вихідні параметри	
	В/ФВГ, (X ₁)	З/(З+ФВГ) (X ₂)	середня густина, кг/м ³	міцність при стиску, МПа
1	2	3	4	5
1	0,35	0,6		
2	0,35	0		
3	0,15	0,6		
4	0,15	0		
5	0,35	0,3		
6	0,15	0,3		
7	0,25	0,6		
8	0,25	0		
9	0,25	0,3		
10	0,25	0,3		
11	0,25	0,3		

5.5. Обробка результатів

1. На підставі отриманих експериментальних даних будуються дві повно-квадратичні регресійні моделі міцності на стиск та середньої густини дослідженого гіпсобетону від двох технологічних факторів його виготовлення. 2. За отриманими регресійними рівняннями при допомозі комп'ютера будуються два графіки ізоліній: міцності при стиску та середньої густини від витрат будівельного гіпсу із фосфогіпсу та масової частки заповнювача в суміші заповнювача з фосфогіпсовим в'язучим ФВГ-2: $З/(З+ФВГ-2)$. 3. Графо-аналітичним способом за графіками ізоліній визначається множина марок гіпсобетону із технологічними факторами їх виготовлення, що заносяться в таблицю.

5.6. Висновки

На підставі множини вишуканих варіантів марок даного вібропресованого гіпсо-пісчаного бетону визначаються економічно доцільні варіанти виробництва будівельних виробів із нього.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6

Визначення фізико-механічних властивостей гіпсо-пінополістирол бетону

6.1. Мета роботи

Дослідити вплив трьох технологічних факторів X_1 – водо-гіпсового відношення, X_2 – відношення абсолютного об'єму полістирольних гранул до загального об'єму матеріалу та X_3 – середнього діаметру полістирольних гранул, мм виготовлення гіпсо-пінополістирол бетону на його міцність при стиску та середню густину у віці 2 годин твердіння на повітрі з висушуванням зразків до постійної маси.

6.2. Обладнання і матеріали

Прес гідравлічний 10-тонний. Металічні розбірні форми розміром 40x40x160 мм. Вібромайданчик. Чаші для замішування. Лопатки. Секундомір. Штангенциркуль. Сушильна камера. Будівельний гіпс, марки ФВГ-2 із фосфогіпсу, випалений при $t=160^{\circ}\text{C}$, піно-полістирольні гранули, вода водопровідна.

6.3. Планування експерименту

Таблиця 6.1.

Умови планування експерименту

технологічні фактори		рівні варіювання		крок варіювання
натуральні	кодов	-1	+1	
1	2	3	4	5
Водо-гіпсове відношення, В/ФГВ	X_1	0,53	0,59	0,06
Відношення абсолют. об'єму полі-стирольних гранул до загального об'єму матеріалу, $V_{\text{абс}}/V_{\text{заг}}$	X_2	0,15	0,45	0,3
Середній діаметр полістирольних гранул $d_{\text{сер.}}$, мм	X_3	3,39	5,69	2,3

Таблиця 6.2

Матриця планування експерименту

точки плану	кодовані техн. фактори			натуральні техн. фактори		
	X ₁	X ₂	X ₃	V/ФГВ (X ₁)	V _{абс} /V _{зар} (X ₂)	d _{сер.} , мм (X ₃)
1	2	3	4	5	6	7
1	+1	+1	+1	0,59	0,45	5,69
2	+1	+1	-1	0,59	0,45	3,39
3	+1	-1	+1	0,59	0,15	5,69
4	+1	-1	-1	0,59	0,15	3,39
5	-1	+1	+1	0,53	0,45	5,69
6	-1	+1	-1	0,53	0,45	3,39
7	-1	-1	+1	0,53	0,15	5,69
8	-1	-1	-1	0,53	0,15	3,39

6.4. Порядок виконання роботи

1. Група студентів поділяється на чотири бригади і занотовує в робочий зошит умови планування і матрицю трьох-факторного експерименту, що задає викладач.

3. Кожна бригада виконує по два заміси гіпсо-пінополістеролбетону, об'ємом на три балки розміром 40х40х160 мм на протязі 2 хв.

4. Бригади ущільнюють отримані зразки гіпсо-пінополістеролбетонних сумішей у металічних формах на вібромайданчику протягом двох хвилин кожний.

5. Виготовлені зразки-балки розміром 40х40х160 мм розміщуються на повітрі на 2 години, а потім висушуються при температурі 50⁰С до постійної маси та охолоджуються до кімнатної температури.

6. Гіпсо-пінополістеролбетонні зразки-балки випробовують на середню густину і міцність при стиску у сухому стані – табл.6.3.

Таблиця 6.3

Результати лабораторних випробувань

точки плану	натуральні техн. фактори			вихідні параметри	
	V/ФГВ (X ₁)	V _{абс} /V _{зар} (X ₂)	d _{сер.} , мм (X ₃)	середня густина, кг/м ³	міцність при стиску, МПа
1	2	3	4	5	6
1	0,59	0,45	5,69		
2	0,59	0,45	3,39		

Продовження табл.6.3

1	2	3	4	5	6
3	0,59	0,15	5,69		
4	0,59	0,15	3,39		
5	0,53	0,45	5,69		
6	0,53	0,45	3,39		
7	0,53	0,15	5,69		
8	0,53	0,15	3,39		

6.5. Обробка результатів

1. На підставі отриманих експериментальних даних будуються дві повно-квадратичні регресійні моделі міцності на стиск та середньої густини дослідженого гіпсо-пінополістирол-бетону від трьох технологічних факторів його виготовлення.
2. За отриманими регресійними рівняннями при допомозі комп'ютера будуються дві номограми: міцності при стиску та середньої густини від X_1 , X_2 та X_3 .
3. Графо-аналітичним способом за номограмами визначається множина марок гіпсо-пінополістиролбетону із технологічними факторами їх виготовлення, що заноситься в таблицю.

6.6. Висновки

На підставі множини варіантів виготовлення зразків-балок даного гіпсо-пінополістиролбетону вишуковуються економічно доцільні варіанти виробництва будівельних виробів із нього.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №7

Визначення фізико-механічних властивостей бетонів на основі сульфатно-шлакових в'язучих

7.1. Мета роботи

Дослідити вплив трьох технологічних факторів X_1 – витрат води, л/м³, X_2 – водо-в'язучого відношення; та X_3 – вмісту добавки С-3 від маси сульфатно-шлакового в'язучого (СШВ) виготовлення важкого бетону на його осадку конуса і міцність при стиску та середню густину у віці 28 діб нормального твердіння.

7.2. Обладнання і матеріали

Цифрові ваги. Чаші для замішування зразків бетону. Металічний конус. Лопатки. Металічні розбірні форми розміром 100x100x100 мм. Вібромайданчик. Камера нормального твердіння. Прес гідравлічний 50-тонний. СШВ сухого помелу з активністю 35 МПа складу: доменний гранульований шлак (ДГШ) – 85%, фосфогіпс (ФГ) – 10%, ПЦ – 5% із питомою поверхнею 615 м²/кг. Пісок кварцовий з $M_{кр}=2,0$. Щебінь гранітний, фракцій 5-40 мм. Пластифікатор С-3.

7.3. Планування експерименту

Таблиця 7.1.

Умови планування експерименту

технологічні фактори		рівні варіювання			крок варіювання
натуральні	кодовані	-1	0	+1	
1	2	3	4	5	6
Витрата води, В, л/м ³	X ₁	150	160	170	10
Водо-в'язуче відношення - В/СШВ	X ₂	0,5	0,6	0,7	0,1
Вміст С-3, % від СШВ	X ₃	0	0,5	1,0	0,5

Таблиця 7.2

Матриця планування експерименту

точки плану	кодовані техн. фактори			натуральні техн. фактори		
	X ₁	X ₂	X ₃	В, л/м ³ (X ₁)	В/СШВ (X ₂)	С-3, % від СШВ (X ₃)
1	2	3	4	5	6	7
1	+1	+1	+1	170	0,7	1,0
2	+1	+1	-1	170	0,7	0
3	+1	-1	+1	170	0,5	1,0
4	+1	-1	-1	170	0,5	0
5	-1	+1	+1	150	0,7	1,0
6	-1	+1	-1	150	0,7	0
7	-1	-1	+1	150	0,5	1,0
8	-1	-1	-1	150	0,5	0
9	+1	0	0	170	0,6	0,5

Продовження табл.7.2

1	2	3	4	5	6	7
10	-1	0	0	150	0,6	0,5
11	0	+1	0	160	0,7	0,5
12	0	-1	0	160	0,5	0,5
13	0	0	+1	160	0,6	1,0
14	0	0	-1	160	0,6	0
15	0	0	0	160	0,6	0,5
16	0	0	0	160	0,6	0,5
17	0	0	0	160	0,6	0,5

7.4. Порядок виконання роботи

1. Підгрупа студентів поділяється на чотири бригади.
2. Підгрупа занотовує в робочий зошит умови планування і матрицю трьохфакторного експерименту, що задає викладач.
3. Кожна бригада виконує по два заміси дрібнозерного бетону, об'ємом по сім літрів на протязі 5 хв. та визначають їх осадку конуса.
4. Бригади ущільнюють отримані зразки бетонних сумішей у металічних формах розміром 100x100x100 мм на вібромайданчику протягом трьох хвилин кожний.
5. Виготовлені бетонні зразки-кубики розміром 100x100x100 мм розміщуються у камері нормального твердіння на 1 добу.
6. Через добу твердіння бетонні зразки розпалублюють та зберігають у камері нормального твердіння 7 діб.
7. Через 7 діб бетонні зразки випробовують на стиск під пресом та визначають їх границі міцності на стиск та перераховують їх за логарифмічною залежністю на 28 діб – табл.7.3.

Таблиця 7.3

Результати лабораторних випробувань

точки плану	натуральні техн. фактори			вихідні параметри	
	В, л/м ³ (X ₁)	В/СШВ (X ₂)	С-3,% від СШВ (X ₃)	осадка конуса, см	міцність при стиску, МПа
1	2	3	4	5	6
1	170	0,7	1,0		
2	170	0,7	0		

Продовження табл. 7.3

1	2	3	4	5	6
3	170	0,5	1,0		
4	170	0,5	0		
5	150	0,7	1,0		
6	150	0,7	0		
7	150	0,5	1,0		
8	150	0,5	0		
9	170	0,6	0,5		
10	150	0,6	0,5		
11	160	0,7	0,5		
12	160	0,5	0,5		
13	160	0,6	1,0		
14	160	0,6	0		
15	160	0,6	0,5		
16	160	0,6	0,5		
17	160	0,6	0,5		

7.5. Обробка результатів

1. На підставі отриманих експериментальних даних (табл. 7.3) будуються дві повно-квадратичні регресійні моделі на осадку конуса бетонних сумішей і на стиск від трьох технологічних факторів його виготовлення.
2. За отриманими регресійними рівняннями при допомозі комп'ютера будуються дві номограми: осадки конуса бетонних сумішей і міцності при стиску бетону від X_1 , X_2 та X_3 .
3. Графо-аналітичним способом за номограмами визначається множина марок бетону на основі СШВ із технологічними факторами їх виготовлення, що заноситься в таблицю.

7.6. Висновки

Із множини варіантів виготовлення зразків-кубиків даного бетону на сульфатно-шлаковому в'язучому вишукуються економічно доцільні варіанти виробництва будівельних виробів із зазначеного матеріалу.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №8

Визначення властивостей композиційних гіпсових в'язучих на основі фосфогіпсу

8.1. Мета роботи

Дослідити вплив трьох технологічних факторів виготовлення шпатлівочних сумішей: X_1 – вмісту модифікованого фосфогіпсового в'язучого (ФГВ), %, X_2 – вмісту водо-утримуючої добавки Tylose 60010, % та X_3 – водо-в'язучого відношення В/ФГВ на їх міцність при стиску та при вигині у віці 7 діб твердіння на повітрі.

8.2. Обладнання і матеріали

Цифрові ваги. Вязкозиметр Сутгарда. Лопатки. Чаші для змішування зразків в'язучих. Металічні розбірні форми розміром 40x40x160 мм. Прес гідравлічний 10-тонний. Прилад МИИ-100. Фосфогіпсове в'язуче (ФГВ) із фосфогіпсу (ФГ) ВАТ «Рівне-азот». Фосфогіпс дигідрат. Гашене вапно з активністю 80%. Полікарбоксилатний пластифікатор Melflux-1641F. Ефір целюлози Tylose 60010. Лимонна кислота.

8.3. Планування експерименту

Таблиця 8.1.

Умови планування експерименту

технологічні фактори		рівні варіювання			крок варіювання
натуральні	кодов.	-1	0	+1	
1	2	3	4	5	6
Вміст модифікованого ФГВ, %	X_1	45	50	55	5
Вміст добавки Tylose 60010, %	X_2	0	0,05	0,1	0,05
Водо-в'язуче відношення В/ФГВ	X_3	0,4	0,45	0,5	0,05

Таблиця 8.2

Матриця планування експерименту

точки плану	кодов. техн. фактори			натуральні техн. фактори		
	X ₁	X ₂	X ₃	Вміст модифіков. ФГВ (X ₁)	Вміст Tylose 60010, % (X ₂)	В/ФГВ (X ₃)
1	2	3	4	5	6	7
1	+1	+1	+1	55	0,1	0,5
2	+1	+1	-1	55	0,1	0,4
3	+1	-1	+1	55	0	0,5
4	+1	-1	-1	55	0	0,4
5	-1	+1	+1	45	0,1	0,5
6	-1	+1	-1	45	0,1	0,4
7	-1	-1	+1	45	0	0,5
8	-1	-1	-1	45	0	0,4
9	+1	0	0	55	0,05	0,45
10	-1	0	0	45	0,05	0,45
11	0	+1	0	50	0,1	0,45
12	0	-1	0	50	0	0,45
13	0	0	+1	50	0,05	0,5
14	0	0	-1	50	0,05	0,4
15	0	0	0	50	0,05	0,45
16	0	0	0	50	0,05	0,45
17	0	0	0	50	0,05	0,45

8.4. Порядок виконання роботи

1. Підгрупа студентів поділяється на чотири бригади і занотує в робочий зошит умови планування і матрицю трьох-факторного експерименту, що задає викладач.

3. Кожна бригада виконує по два заміси модифікованого фосфогіпсового в'язучого із наповнювачем – фосфогіпсом, що нейтралізований 3% гашеного вапна, об'ємом на три балки розміром 40х40х160 мм на протязі 2 хв.

4. Бригади ущільнюють отримані зразки шпатлівочних сумішей на основі модифікованого фосфогіпсового в'язучого у металічних формах вручну як для будівельного гіпсу.
5. Виготовлені зразки-балки розміром 40x40x160 мм розміщуються тверднути на повітрі на 7 діб при температурі $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$.
6. Зразки-балки із шпатлівочних сумішей на основі модифікованого фосфогіпсового в'язучого випробовують на міцність при вигині та міцність при стиску у віці 7 діб твердіння на повітрі – табл.8.3.

Таблиця 8.3

Результати лабораторних випробувань

точки плану	натуральні техн. фактори			вихідні параметри	
	Вміст модифіков. ФГВ (X_1)	Вміст Tylose 60010, % (X_2)	В/ФГВ (X_3)	середня густина, кг/м ³	міцність при стиску у віці 7 діб, МПа
1	2	3	4	5	6
1	55	0,1	0,5		
2	55	0,1	0,4		
3	55	0	0,5		
4	55	0	0,4		
5	45	0,1	0,5		
6	45	0,1	0,4		
7	45	0	0,5		
8	45	0	0,4		
9	55	0,05	0,45		
10	45	0,05	0,45		
11	50	0,1	0,45		
12	50	0	0,45		
13	50	0,05	0,5		
14	50	0,05	0,4		
15	50	0,05	0,45		
16	50	0,05	0,45		
17	50	0,05	0,45		

8.5.Обробка результатів

1. На підставі отриманих експериментальних даних (табл.8.3) будуються дві повно-квадратичні регресійні моделі міцності на вигин і міцності стиск досліджених шпатлівочних сумішей на основі модифікованого фосфогіпсового в'язучого від трьох технологічних факторів їх виготовлення.
2. За отриманими регресійними рівняннями при допомозі комп'ютера будуються дві номограми: міцності балок на вигин і міцності їх при стиску від X_1 , X_2 та X_3 у віці 7 діб твердіння на повітрі.
3. Графо-аналітичним способом за номограмами визначається множина марок шпатлівочних сумішей із композиційних гіпсових в'язучих на основі фосфогіпсу та їх технологічні фактори, що заноситься в таблицю.

8.6. Висновки

На підставі множини визначених варіантів марок виготовлення шпатлівочних сумішей на основі композиційного гіпсового в'язучого з використанням фосфогіпсу вишукуються економічно доцільні варіанти їх виробництва.

Список використаної літератури

- 1.Дворкін Л. Й. Ефективні золівмісні цементи, бетони та розчини:монографія. Рівне : НУВГП, 2022. 419 с.
2. Дворкін Л. Й. Теоретичні основи будівельного матеріалознавства: навчальний посібник. Рівне : НУВГП, 2022. 799 с.
3. Дворкін Л. Й., Мироненко А. В. Будівельні матеріали та вироби із застосуванням промислових відходів.НУВГП. Рівне, 2019. 297 с.
4. Дворкін Л. Й.,Житковський В. В., Марчук В. В. Ефективні сухі будівельні суміші та розчини на їх основі : монографія. К. : Каравела, 2024. 347 с.

5. Дворкін Л. Й. Структура, склад та властивості цементного бетону : навч. посібник. К. : Каравела, 2024. 237 с.

6. Дворкін Л. Й. Основи матеріалознавства і технології будівельних виробів : навчальний посібник. К. : Кондор, 2024. 808 с.

Нормативні документи

1. ДСТУ Б В.2.7-46:2010 Цементи загально будівельного призначення. Технічні умови.

2. ДСТУ Б В.2.7-82:2010 В'яжучі гіпсові. Технічні умови.

3. ДСТУ Б В.2.7-90:2011 Вапно будівельне. Технічні умови.

4. ДСТУ Б В.2.7-1-93 Будівельні матеріали. Фосфогіпс рядовий. Технічні умови

5. ДСТУ Б В.2.7-2-93 Будівельні матеріали. Фосфогіпс кондиційний для виробництва гіпсового в'яжучого та штучного гіпсового каменя. Технічні умови

6. ДСТУ Б В. 2.7-22-95 Будівельні матеріали. В'яжучі композиційні низькоактивні безклінкерні. Загальні технічні умови.