

Н. В. АСТАХОВА, В. І. АСТАХОВ, кандидати техн. наук, доценти
Криворізький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ БЕТОНІВ НА ШЛАКОВИХ МАТЕРІАЛАХ РАЦІОНАЛЬНИХ МОДИФІКАЦІЙ ДЛЯ ОДНОШАРОВИХ КОНСТРУКЦІЙ ДАХУ З ТЕПЛИМ ГОРИЩЕМ ТА БЕЗРУЛОННОЮ ПОКРІВЛЕЮ

Створення одношарової панелі даху з безрулонною покрівлею і теплим горищем з легкого бетону на пористих заповнювачах дозволить значно спростити технологію заводського виробництва конструкцій і підвищити їх експлуатаційну надійність.

Мета. Отримання шлакопемзобетону і шлакобетону, який задовольняє вимогам, що пред'являються до бетону одношарової панелі даху з теплим горищем і безрулонною покрівлею щодо міцності при стиску і водопроникнення, при відносно низьких значеннях коефіцієнта теплопровідності та щільності.

Методи дослідження. При дослідженні були використані руйнуючі методи оцінки міцності при стиску бетону стандартних зразків та визначення водопроникнення за стандартною методикою. Також шлакопемзобетон досліджуваних структур був підданий випробуванню на водонепроникність при високих тисках.

Наукова новизна. Розроблені бетони на шлакових матеріалах раціональних модифікацій, які характеризуються показниками призменої міцності та модуля пружності, які перевищують нормативні значення, а також володіють підвищеними значеннями граничної розтяжності.

Практичне значення. Отримані шлакопемзобетон та шлакобетон зі зниженою водопроникністю, які мають високі значення міцності на розтяг при розколюванні, призменої міцності і модуля пружності. Все це визначає підвищену граничну розтяжність бетону на шлаковій пемзі в порівнянні з нормативними значеннями. Ці властивості є дуже важливими для бетону, що використовується в конструкціях даху з безрулонною покрівлею та теплим горищем.

Результати. Розроблені та досліджені види шлакопемзобетону, які задовольняють вимогам, що пред'являються до бетону одношарової панелі даху з теплим горищем і безрулонною покрівлею щодо міцності при стиску і водопроникнення при відносно низьких значеннях коефіцієнта теплопровідності і щільності, характеризуються граничною розтяжністю і призменною міцністю, що перевищують нормативне значення.

Розроблений шлакобетон, який у віці 28 діб після пропарювання характеризується більш високими показниками міцності в порівнянні з дослідженими модифікаціями шлакопемзобетону та характеризується граничною розтяжністю, що значно перевищує нормативне значення.

Ключові слова: конструкції даху з безрулонною покрівлею над теплим горищем, шлакопемзобетон, шлакобетон, мелений гранульований шлак, відходи ГЗК.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Питання використання шлакової пемзи та гранульованого доменного шлаку як заповнювачів для бетону одношарової панелі даху з безрулонною покрівлею над теплим горищем ще не достатньо відображене у науково-технічній літературі. Тому в наш час є доцільним продовжувати дослідження використання в конструкції панельного даху шлакових матеріалів.

Це стає можливим і доцільним за умови розробки технологічного регламенту, який забезпечує складну сукупність властивостей бетону в конструкції: високі показники міцності, опору водопроникненню, морозостійкості при низькій теплопровідності. Таке технологічне рішення дозволить розширити область застосування шлакопемзобетону і шлакобетону та досягти істотного підвищення заводської готовності конструкцій, зниження будівельних працевитрат і вартості будівництва.

Для захисту бетону конструкцій даху від впливу атмосферної вологи розроблено та застосовуються різні матеріали на основі бітумних й асфальтових мастик, бітумно-полімерні, полімерні мастичні та фарбувальні склади [1-3], плівкові полімерні матеріали [4, 5], що наносяться в будівельних або заводських умовах до або після тепловологої обробки бетону конструкцій. Однак досвід експлуатації дахів з безрулонним покриттям виявляє недовговічність застосовуваних водо-захисних матеріалів [6]. Вплив сезонних і добових коливань температури, що посилюється інсоляцією, зумовлює значні температурні деформації конструкцій даху [7], що призводить до розтріскування гідроізоляційного шару. Тріщини, які при цьому з'являються, стають осередками подальшого руйнування покрівлі при замерзанні води, яка потрапляє в них, що призводить до відшарування гідроізоляції [6].

Аналіз досліджень і публікацій. У зв'язку зі зростанням цін на пісок, щебінь та інші інертні матеріали для будівництва виникла потреба у вишукуванні економічних та раціональних

прийомів використання місцевої сировини для виробництва будівельних матеріалів [8]. Додатковим, погіршуючим фактором, що схиляє до цих рішень, є ціни на енергоносії, що постійно зростають і, як наслідок, збільшуються витрати на транспортування матеріалів та сировини до місця будівництва [8].

Світовий та вітчизняний досвід дозволяє припустити, що оптимальним виходом із такої ситуації може стати застосування бетонів зі спрямовано функціональними органічними та мінеральними добавками, що забезпечують отримання надійних будівельних конструкцій [8].

В нашому регіоні накопичилась велика кількість ГЗК, які можуть бути використані в якості одного з компонентів складного в'язучого [8-10] або дрібного заповнювача.

Як відзначається в роботі [11], на сьогодні в Україні промисловими відходами відчужується до 5 тис. га земельних ділянок. Щорічно додається тільки відходами збагачення залізних руд на 60-80 мільйонів тонн. На п'яти гірничозбагачувальних комбінатах Кривбасу із загального обсягу видобутої гірничої маси у вигляді товарної сировини використовується лише 38 %, інша йде у відвали [11]. Загалом у відвалах і хвостосховищах цих комбінатів накопичилося понад 350 млн м³ мінеральних відходів. У середньому гірничо-збагачувальні комбінати Кривого Рогу щорічно складають у відвали 15-20 млн м³ безрудних кварцитів [11].

Сьогодні це є серйозною небезпекою для екологічного стану регіонів України і особливо Кривбасу. Тому проблеми використання промислових відходів вимагають невідкладного рішення [11].

Крупні гірничо-збагачувальні комбінати є джерелами забруднення довкілля. До їх складу входять хвостосховища, які тільки на Криворіжжі займають площу понад 7600 га і є потужними джерелами пилоутворення, викликають засолення значних територій, змінюють їх гідрологічний режим [12].

Особливої уваги заслуговує проблема твердих відходів, яких в гірничодобувних регіонах накопилася величезна маса, причому їх видалення та складування перестає бути економічно виправданим [13].

На ГЗК склалася така ситуація, що відходи виробництва економічно не існують, у фінансовій звітності не відображаються і на показники господарської діяльності не впливають. На підприємствах утворилось замкнуте коло: відходи не враховуються тому, що не вигідно, а не вигідно, тому що не враховуються [14].

У 2015 р. Комісія ЄС прийняла план дій щодо циркулярної економіки, як елементу «зеленого» сценарію розвитку світової економіки [15]. Він націлений на стимулювання сталого споживання і застосування виробничих моделей з дотриманням зобов'язань ЄС у рамках «Програми сталого розвитку 2030». У плані підкреслювалося, що перехід до циркулярної економіки вимагає дій протягом всього життєвого циклу продукту: від виробництва до створення ринків вторинної сировини [15].

Україна у контексті «зеленого» курсу має як великі проблеми, так і великий потенціал, адже проблема відходів знаходиться у центрі уваги всієї циркулярної економіки [15].

Постановка завдання. Метою дослідження є отримання шлакопемзобетону і шлакобетону, який задовольняє вимогам, що пред'являються до бетону одношарової панелі даху з теплим горищем і безрулонною покрівлею щодо міцності при стиску і водонепроникнення, при відносно низьких значеннях коефіцієнта теплопровідності та щільності.

Викладення матеріалу та результати. В даній групі експериментів досліджувалися бетони на шлакових матеріалах раніше встановлених раціональних модифікації з уведенням добавки ГКЖ-11 у кількості 0,03 % і без неї.

Склади бетону на шлакових матеріалах відображені в табл. 1.

Результати виконаних досліджень шлакопемзобетону і шлакобетону наведено в табл. 2.

Зареєстрована у процесі випробувань міцність при стиску досліджуваного шлакопемзобетону ГК-20 складає 30,7 МПа, шлакопемзобетону ГК-10 – 32 МПа, і у віці 28 діб після пропарювання відповідає класу С 25 (табл. 2).

Введення добавки ГКЖ-11 у кількості 0,03 % від маси цементу і меленого шлаку збільшує міцність при стиску шлакопемзобетону ГК-20 та ГК-10 відповідно до 32 МПа (4,2 %) та 33,7 МПа (5,3 %) (табл. 2).

З метою зіставлення величин міцності бетону при осьовому розтягуванні і розтягуванні при розколюванні була виготовлена серія зразків з шести призм і шести кубів розміром, відповідно, 100×100×400 мм і 150×150×150 мм із шлакопемзобетону складу Ш-11.

Таблиця 1

Склади бетону на шлакових матеріалах раціональних структур для конструкцій дахів з безрулонною покрівлею та теплим горіщем

Шифр складу	Гранична крупність заповнювача	$\frac{M}{M+K}$	Шлакова пемза						Граншлак		Мелений граншлак, кг	Цемент, кг	ГКЖ-11, в перерахунок на суху речовину	Вода, л
			0-5		5-10		10-20		л	кг				
			л	кг	л	кг	л	кг						
Ш-21	20	0,5	598	666	239	179	359	256	-	-	270	300	-	282
Ш-22	20	0,5	608	677	243	182	365	261	-	-	270	300	174	269
Ш-11	10	0,66	721	803	372	279	-	-	-	-	300	300	-	290
Ш-12	10	0,66	729	812	376	282	-	-	-	-	300	300	180	276
ГШ	5	1	-	-	-	-	-	-	1150	1350	275	300	-	276
ГШП	5	1	-	-	-	-	-	-	1170	1372	275	300	173	262

Таблиця 2

Фізико-технічні властивості бетону на шлакових матеріалах для конструкцій даху з безрулонною покрівлею над теплим горіщем

Шифр складу	Вид бетону	Властивості бетону віком 28 днів після пропарювання								
		R , МПа	R_{pp} , МПа	R_{pp} , МПа	E , МПа	$\epsilon_{пр}$ × 10 ⁵	K_w , г/см ²	λ , Вт/м·К	γ , кг/м ³	
Ш-21	Шлакопемзобетон ГК-20	30,7	30,1	2,63	21900	12	0,27	0,456	1760	
Ш-22	Шлакопемзобетон ГК-20	32	31,9	3,03	22400	13,52	0,22	0,461	1779	
Ш-11	Шлакопемзобетон ГК-10	32	30,7	2,34	21400	10,93	0,28	0,473	1806	
Ш-12	Шлакопемзобетон ГК-10	33,7	33,1	2,82	22000	12,81	0,24	0,468	1819	
ГШ	Шлакобетон	32,8	31,6	3,04	22200	13,69	0,32	0,480	1980	
ГШП	Шлакобетон	35,5	34,9	3,3	23000	14,34	0,26	0,483	1996	

Випробування проводилися відповідно до [16] у віці 28 днів після пропарювання.

Результати проведених випробувань виявили відповідність показників міцності шлакопемзобетону при осьовому розтягуванні і розтягуванні при розколюванні, середні значення яких різняться на 3,9 % (табл. 3).

Таблиця 3

Результати випробування міцності шлакопемзобетону при розтягненні

Вид випробування	Міцність зразків R , МПа							Коефіцієнт варіювання, %
	1	2	3	4	5	6	середнє арифметичне значення R	
Осьове розтягнення	2,16	2,42	2,44	1,86	1,98	2,62	2,25	13,1
Розтягнення при розколюванні	2,16	2,46	2,51	2,32	2,38	2,23	2,34	5,7

Аналіз результатів дав повні підстави для того, щоб при проведенні подальших досліджень міцність бетону при розтягуванні оцінювати шляхом випробування зразків кубів на розтяг при розколюванні.

Шлакопемзобетон з добавкою метилсіліконату натрію, в порівнянні з бездобавковим, виявляє високі значення міцності на розтяг при розколюванні (R_{pp}), призмної міцності (R_{pp}) і модуля пружності (E). Так, додавання 0,03 % ГКЖ-11 змінює R_{pp} шлакопемзобетону ГК-20 з 2,63 до 3,03 МПа, ГК-10 – з 2,34 до 2,82 МПа (табл. 2).

Модуль пружності бетону E відповідно зростає для шлакопемзобетону ГК-10 з 21400 МПа до 22000 МПа, для ГК-20 – з 21900 до 22400 МПа (табл. 2).

Усе це визначає підвищену граничну розтяжність бетону на шлаковій пемзі з добавкою 0,03% ГКЖ-11 порівняно з бетоном без добавки, яка зростає для шлакопемзобетону ГК-20 і ГК-10, відповідно, на 12,6 % та 17,2 %.

Гранична розтяжність досліджуваних видів шлакопемзобетону без ГКЖ-11 і з добавкою ГКЖ-11 перевищує нормативне значення (для бетону на пористих заповнювачах класу С 25) відповідно в 1,62 та 1,82 рази при використанні заповнювача ГК-20, у 1,47 та 1,73 рази при заповнювачі ГК-10.

Відношення R_{np}/R шлакопемзобетону коливається в межах 0,96 - 0,98. Призменна міцність бетону на шлаковій пемзі ГК-20 перевищує нормативне значення у 1,28 рази, ГК-10 – у 1,25.

Введення добавки ГКЖ-11 в оптимальній кількості збільшує R_{np} шлакопемзобетону ГК-20 і ГК-10 відповідно на 6 % і 5,5 %.

Показник водопроникнення досліджуваних модифікацій шлакопемзобетону знаходиться в межах 0,28 - 0,27 г/см². Добавка ГКЖ-11 знижує K_w до 0,22 - 0,24 г/см² (табл. 2).

Поряд з оцінкою водопроникнення за стандартною методикою, шлакопемзобетон досліджуваних структур був підданий випробуванню на водонепроникність при високих тисках за методикою [17]. Дослідження проводилися в центральній лабораторії об'єднання "Криворіжзалізобетон". Зразки пластини розміром 150×150×50 мм і циліндри $D=H=150$ мм для оцінки водонепроникності за вищевказаними методиками були виготовлені з бетонної суміші одного замісу без добавки ГКЖ-11 при однакових режимах формування і твердіння.

Дослідженнями встановлено, що шлакопемзобетон у віці 7 діб, водопроникнення якого характеризується $K_w = 0,28-0,3$ г/см², відповідає марці водонепроникності за [17] W-6 і задовольняє вимогам, що пред'являються до бетону одношарових конструкцій даху з безрулонною покрівлею та теплим горищем з водонепроникності.

В умовах експерименту, введення добавки ГКЖ-11 в оптимальних кількостях, не має істотного впливу на коефіцієнт теплопровідності шлакопемзобетону, як наведено в табл. 2.

Таким чином, розроблені та досліджені види шлакопемзобетону ГК-20 та ГК-10 з витратою цементу та меленого граншлаку, відповідно, 300 та 270-300 кг/м³ задовольняють вимогам, що пред'являються до бетону одношарової панелі даху з теплим горищем і безрулонною покрівлею щодо R і K_w при відносно низьких значеннях коефіцієнта теплопровідності і щільності, характеризуються граничною розтяжністю і призменною міцністю, що перевищують нормативне значення, відповідно, в 1, 62 ... 1,47 і 1,25 ... 1,28 рази.

Введення добавки ГКЖ-11 зумовлює збільшення R , R_{pp} , R_{np} , E і ε_{np} шлакопемзобетону, сприяє підвищенню опору бетону водопроникненню.

Шлакобетон складу, представленого у табл. 1, у віці 28 діб після пропарювання характеризується більш високими показниками міцності в порівнянні з дослідженими модифікаціями шлакопемзобетону ГК-20 і ГК-10. Міцність при стисканні шлакобетону із запровадженням 0,03 % ГКЖ-11 підвищується з 32,8 до 35,5 МПа, міцність на розтяг при розколюванні – з 3,04 до 3,30 МПа.

Бетон на гранульованому доменному шлаку характеризується граничною розтяжністю, що значно перевищує нормативне значення. Це перевищення становить 1,85 рази, для шлакобетону без ГКЖ-11 та 2,1 рази з додаванням ГКЖ-11.

Показник водопроникнення шлакобетону K_w становить 0,32 г/см². Введення 0,03 % ГКЖ-11 від маси цементу і меленого шлаку сприяє зниженню K_w до 0,26 г/см².

Коефіцієнт теплопровідності шлакобетону знаходиться в межах 0,480...0,483 Вт/(м·К) і практично не залежить від наявності в бетоні добавки ГКЖ-11.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Теплопровідність шлакопемзобетону і шлакобетону росте зі збільшенням витрати цементу і меленого шлаку. При цьому зміна вмісту останнього, проти портландцементу, менш істотно відбивається на теплопровідності.

Бетон на шлакових матеріалах класу С25-С30 раціональних модифікацій характеризується показниками R_{np} і E , які перевищують нормативні значення, відповідно, в 1,25 і 1,2 рази для шлакопемзобетону ГК-10, в 1,28 та 1,25 рази для шлакопемзобетону ГК-20, у 1,26 та 1,11 рази для шлакобетону, а також підвищеними значеннями граничної розтяжності.

Застосування добавок поверхнево-активних речовин забезпечує поліпшення властивостей бетону на шлакових матеріалах. Уведення в бетонну суміш добавки ГКЖ-11 у кількості 0,03 % від маси цементу та меленого шлаку сприяє збільшенню міцності при стисканні та розтягуванні при розколюванні, призмової міцності та граничної розтяжності бетону, зниженню його водопроникнення.

Список літератури

1. Касымов И. К., Салимов А. Ю. Некоторые теоретические основы пропитки бетона в расплавах термопластика / И. К. Касымов, А. Ю. Салимов // Науч. тр. / Среднеазиат. политехн. ин-т, 1973, вып. 109. - С. 108-114.
2. Салимов А. Ю. Технология пропитки плит покрытия / А. Ю. Салимов // Науч. тр. / Ташкент, политехн. ин-т, 1973, вып. 109. - С. 114-120.
3. Фоломин А. И., Кричевская Е. И. Рекомендации по применению в конструкциях совмещенных крыш безрулонных кровель, полимерных материалов и панелей из водонепроницаемых бетонов / А. И. Фоломин, Е. И. Кричевская // М.: Стройиздат, 1970. - 37 с.
4. Зуфаров К. З. Применение безрулонной кровли на основе полимерной пленки в жилых домах Ташкента / К. З. Зуфаров // - Строительство и архитектура Узбекистана, 1972, No2. - С. 13-15.
5. Краснов В. В., Диамант М. И. Сборная крыша с безрулонными кровельными плитами / В. В. Краснов, М. И. Диамант // Жилищное строительство, 1978. № 9. - С. 13-16.
6. Фазылов У. Ф. Состояние и перспективы развития крыш с безрулонной кровлей в жилищном строительстве IV климатического района / У. Ф. Фазылов // Опыт проектирования, изготовления и применения безрулонных крыш в гражданском строительстве. Ташкент: 1980. - С. 1-3.
7. Спивак Н. Я. Совершенствование конструкций крупнопанельных жилых домов / Н. Я. Спивак // М.: Знание, 1973. - 64 с.
8. Шишкин А. А., Шишкина А. А., Щерба В.В. Особенности использования отходов горнообогатительных комбинатов в производстве строительных материалов / А. А. Шишкин, А. А. Шишкина, В. В. Щерба В.В. // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. - 2013. - № 1(99). - С. 8 - 12.
9. Резниченко П. Т. Охрана окружающей среды и использование отходов промышленности [Текст] / П. Т. Резниченко, А. П. Чехов. - Днепропетровск: Промінь, 1973. - 94 с.
10. Шишкин А. А. Бетоны на основе шламов обогащения железных руд и щелочного компонента [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Шишкин Александр Алексеевич. - Кривой Рог, 1989. - 177 с.
11. Валовой О. І., Астахов В. І., Афанасьев В. В., Валовой М. О., Єременко О. Ю. Використання відходів гірничорудної промисловості у промисловому, цивільному та транспортному будівництві / О. І. Валовой, В. І. Астахов, В. В. Афанасьев, М. О. Валовой, О. Ю. Єременко // Гірничий вісник. - 2020. - вип. 107. - С. 142-147.
12. Малахов И. Н. Качество жизни: опыт экологического прочтения / И. Н. Малахов // Кривой Рог: Вежа. - 1999. - 158 с.
13. Моссур П. М., Негода С. В. Техногенное минеральное сырье и его использование в Украине / П. М. Моссур, С. В. Негода // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2007. Вып. 6. - С. 299 - 307.
14. Руденко О. В. Відходи гірничо-збагачувального виробництва: особливості при визначенні їх об'єктом обліку / О. В. Руденко // ISSN 2074-5362. Європейський вектор економічного розвитку. - 2011. - № 1 (10). - С. 202 - 207.
15. Лепя В. В., Прогнімак О. Д. Проблеми утилізації доменних шлаків у контексті переходу до циркулярної економіки / В. В. Лепя, О. Д. Прогнімак // Економічний вісник Донбасу. - 2021. Вип 1 (63). - С. 129 - 145.
16. ДСТУ Б В.2.7-214:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення мішності за контрольними зразками. - На заміну ГОСТ 10180-90; введ. 01.09.2010. - К.: ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», 2010. - 43 с.
17. ДСТУ Б В.2.7-170:2008 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення середньої густини, вологості, водопоглинання, пористості і водонепроникності. - На заміну ГОСТ 12730.5-78; введ. 01.07.2009. - К.: ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», 2009. - 38 с.

Рукопис подано до редакції 17.04.2023

УДК 622.271

П.В. БІЛЕНКО, гірн. інженер, Перший заст. гендиректора,
 АТ «НДПІ по збагаченню й агломерації руд чорних металів «Механобрчормет»
 Г.І. ЄРЕМЕНКО, канд. техн. наук, доц.,
 С.О. ЖУКОВ, В.В. ПЕРЕГУДОВ, доктори техн. наук, професори,
 Криворізький національний університет

ПЕРСПЕКТИВИ ТА ЧИННИКИ ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗПЛОТНОГО РОБОТИЗОВАНОГО АВТОТРАНСПОРТУ В КАР'ЄРАХ УКРАЇНИ

Основна мета дослідження полягає в аналітичному огляді сучасного стану кар'єрного автотранспорту й IT-орієнтованих тенденцій щодо його подальшого розвитку в умовах глибоких залізрудних кар'єрів значної потужності з виділенням перспективних моделей, потенційно придатних до умов Кривбасу.

Методами дослідження є актуальний та компаративний аналіз основних статистичних показників щодо гірничотранспортних систем найбільш масштабних відкритих гірничих розробок рудних родовищ з наступним прогнозуванням перспективності технічного переозброєння крупних залізрудних кар'єрів України в напрямку роботизованого рухомого складу.

© Біленко П.В., Г.І. Єременко, Жуков С.О., Перегудов В.В., 2023