

Определение рациональных составов бетонов низкой прочности**А. А. Шишкин, Н. И. Нетеса, А. Н. Нетеса**

В роботі визначено закономірності впливу кількості відходів збагачення залізних руд при раціональному зерновому складі компонентів на міцність бетонів з мінімальною витратою цементу. Бетони, які мають малу міцність, застосовуються в неармованих конструкціях, тому на них не поширюється вимога до мінімальної витрати цементу для забезпечення захисту арматури від корозії. Суттєве зменшення витрати цементу в бетонах низької міцності при забезпеченні необхідної її величини можна здійснити за рахунок раціонального зернового складу компонентів бетонної суміші, що характеризується співвідношенням крупних, середніх та дрібних компонентів, яке дорівнює 52:23:25. У таких складах бетону необхідна кількість дрібнозернистої складової забезпечується введенням дрібнозернистих компонентів, наприклад, вторинних продуктів промисловості, зокрема, відходів збагачення залізних руд.

В результаті проведених досліджень встановлено, що при забезпеченні раціонального зернового складу компонентів бетонної суміші забезпечується необхідна низька міцність бетону при значно меншій витраті цементу, ніж для бетонів, склад яких визначається за іншими методиками. Встановлено, що в якості дрібнозернистої добавки доцільно використовувати відходи збагачення залізних руд, введення яких в раціональній кількості забезпечує значне підвищення ефективності використання цементу в бетонах низької міцності. Застосування бетонів пропонованих складів, які можуть використовуватися для тимчасових конструкцій - бетонної підготовки для влаштування перекриттів при безопалубочному формуванні, дозволяє економити значну кількість цементу, утилізувати вторинні продукти промисловості. Дослідженнями також встановлено, що застосування пластифікуючих добавок дозволяє отримати бетони з раціональним зерновим складом необхідної легкоукладальності

Ключові слова: бетон, міцність, зерновий склад заповнювачів, цемент, відходи збагачення залізних руд

1. Введение

Цементные бетоны относятся к основным строительным материалам для возведения различных конструкций. В таких бетонах цемент является наиболее энергоемкой составляющей, следовательно, его количество в бетонах в решающей мере влияет на стоимость и энергоемкость бетонов. Поэтому главным направлением исследований в области совершенствования технологии и свойств цементных бетонов является решение проблемы обеспечения требуемых важнейших физико-механических характеристик при минимально необходимом расходе цемента. Особенно важна эта проблема для низкопрочных бетонов средней прочностью менее 15 МПа, удельный расход цемента в которых на

достижение единицы прочности в полтора-два раза выше, чем в бетонах средней прочностью 25 МПа и более.

Низкопрочные бетоны применяются в неармированных конструкциях, поэтому на них не распространяется требование норм по минимальному расходу цемента для обеспечения защиты арматуры от коррозии. Существенное уменьшение расхода цемента в бетонах низкой прочности при обеспечении необходимой прочности можно обеспечить при рациональном зерновом составе компонентов бетонной смеси. В таких составах необходимое количество мелкозернистой составляющей обеспечивается введением мелкозернистых компонентов, например, из вторичных продуктов промышленности, в частности, отходов (хвостов) обогащения железных руд. Их утилизацией в бетонах можно решать важную экологическую проблему, так как они занимают большие площади и существенно загрязняют окружающую среду. Но при этом важно определить закономерности изменения прочности таких бетонов от количества цемента и мелкозернистых компонентов из вторичных продуктов промышленности.

Потребность в бетонах средней прочностью от 10 до 15 МПа и менее при строительстве жилых и общественных зданий значительна. Так, например, при устройстве монолитной железобетонной фундаментной плиты толщиной 0,6–0,8 метра необходимо устраивать бетонную подготовку толщиной 0,1 метра из бетона средней прочностью около 10 МПа. Стены подвалов в таких зданиях устраивают из неармированных фундаментных стеновых блоков из бетона средней прочностью около 10–15 МПа. При возведении подземных паркингов по безопалубочной технологии «сверху-вниз» под каждой плитой перекрытия и покрытия толщиной 0,2–0,3 метра устраивается бетонная подготовка из бетона средней прочностью около 10 МПа толщиной 0,1 метра, которая после устройства перекрытия разрушается. В промышленных зданиях при устройстве железобетонных полов под ними также устраивается бетонная подготовка из бетона средней прочностью около 10 МПа толщиной 0,1 метра.

Таким образом, если даже объемы бетонов средней прочностью 10–15 МПа составляют около одного процента от общего объема используемых ежегодно объемов бетона, то это десятки тысяч кубических метров. Если обеспечить в них эффективность использования цемента близкую к эффективности в бетонах более высокой прочности, можно экономить тысячи тонн цемента ежегодно.

Требования к физико-механическим характеристикам бетона такой бетонной подготовки нормами не определены. Но учитывая, что этот бетон должен не разрушаться под действием нагрузки от перемещаемых по его поверхности рабочих и укладываемой на нее бетонной смеси, его стандартная прочность с обеспеченностью 95 % может составлять не более 5 МПа. Действующими в Украине нормами регламентируются правила определения рациональных составов бетонов, начиная от класса бетона по прочности на сжатие С8/10 и выше. Для класса бетона С8/10 рекомендуется использовать цемент активностью 30 МПа. А для бетонов пониженных классов при использовании высокоактивных цементов рекомендуется введение различных минеральных добавок с целью уменьшения расхода цемента при обязательном сохранении физико-технических характеристик бетонной смеси и бетона. Промышленность не вы-

пускает цементы активностью ниже 30 МПа. Поэтому, любой из используемых цементов, в том числе и активностью 30 МПа, является высокоактивным для бетонов со стандартной прочностью 5 МПа. Следовательно, для проектирования составов таких бетонов, важно определить закономерность определения рационального количества минеральных добавок, обеспечивая повышение эффективности использования цемента до эффективности равной эффективности его использования в бетонах более высокой прочности.

На производство одной тонны портландцемента М400 расходуется около 289 кг условного топлива, а на добычу 1 м³ заполнителей – всего 5–6 кг условного топлива. При этом из 100–200 кг условного топлива для изготовления 1 м³ тяжелого бетона до 70 % расходуется на производство цемента». В качестве топлива для обжига и получения клинкера используется газ, тонкоизмельченный уголь, реже мазут. Это невозполнимые энергоресурсы, стоимость которых по мере их уменьшения в природе и усложнения технологии добычи постоянно возрастает. При их сгорании в атмосферу выбрасывается значительное количество углекислого газа (по некоторым данным до полутора тонн на каждую тонну цемента), чем наносится значительный дополнительный вред окружающей среде.

Один из способов снижения расхода цемента в бетонах – применение минеральной добавки из мелкозернистых вторичных продуктов промышленности. В качестве подобной минеральной добавки целесообразно применение преимущественно продуктов, содержащих кремний, например, отходов обогащения железных руд или зол уноса ТЭЦ, которые занимают значительные площади и приводят к загрязнению окружающей среды. При рациональном их введении в состав бетонов в качестве минеральных добавок можно успешно решать экологические проблемы, утилизируя их в бетонах при уменьшении расхода цемента в последних.

Поэтому определение рациональных гранулометрических составов бетонных смесей для получения бетонов низкой прочности при минимизации расхода портландцемента и максимально возможным количеством в этих составах местных вторичных железосодержащих продуктов промышленности является актуальной задачей.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

В работе [2] приведены результаты успешной частичной замены мелкого заполнителя железосодержащими отходами обогащения железных руд в тяжелых бетонах, в которых в качестве вяжущего применен портландцемент. Однако не учитывалось влияние количества крупного заполнителя. В работе [3] подтверждена эффективность включения в состав тяжелых бетонов некоторой части только мелкодисперсных компонентов отходов обогащения железных руд. В этой же работе установлено положительное влияние отходов обогащения железных руд, введенных в состав бетонов в качестве мелкого заполнителя, на физико-технические свойства затвердевшего бетона на цементно-гипсопущофановом вяжущем. Однако не учтено совместное влияние всех фракций заполнителей, как мелкого, так и крупного. Эффективность использования от-

ходов обогащения железных руд в бетонах представлена результатами исследований в работе [4]. Важной особенностью этой работы являются результаты изучения влияния поверхностно-активных химических веществ на свойства бетонов на основе портландцемента и мелкодисперсных отходов обогащения железных руд. Однако влияние гранулометрического состава заполнителя с учетом наличия отходов обогащения железных руд не изучено. Положительное влияние введения различных минеральных комплексов в составы бетонных смесей на свойства цементного бетона приведено в работах [5–8]. Полученные закономерности весьма важны для проверки возможности использования в бетонах разнодисперсных отходов промышленности, содержащих соединения железа. В том числе отходов обогащения железных руд. Однако влияние гранулометрического состава заполнителя с учетом наличия отходов обогащения железных руд не изучено. В работах [9, 10] выявлены важные закономерности влияния суперпластификаторов и пластификаторов на технологические характеристики модифицированных бетонных смесей и затвердевших бетонов, имеющих в составе отходы обогащения железных руд. Однако влияние гранулометрического состава заполнителя с учетом наличия отходов обогащения железных руд, как и в предыдущих работах, не изучено. Интересные результаты по изучению свойств новообразований в цементных бетонах, в которых используются отходы обогащения железных руд в качестве мелкого заполнителя и поверхностно-активные вещества получены в работе [11]. Этими результатами объясняется положительное влияние железосодержащих примесей на свойства цементных бетонов. Однако не определено влияние гранулометрического состава заполнителей с учетом наличия в бетоне железосодержащих тонкозернистых добавок.

Анализ результатов известных исследований показал эффективность применения железосодержащих тонкозернистых промышленных отходов, в том числе отходов обогащения железных руд в качестве компонента бетона. А также, что совместное использование указанных отходов с современными поверхностно-активными веществами повышает физико-технические свойства бетонных смесей и затвердевших бетонов.

Однако отсутствие оптимизации гранулометрического состава заполнителей в исследованных бетонах приводит к тому, что в таких бетонах показатель эффективности использования цемента, определяемый достигнутой прочностью на единицу расхода цемента, остается значительно меньше, чем в бетонах более высокой прочности.

3. Цель и задачи исследований

Целью работы является определение влияния гранулометрического состава заполнителя бетона, который представляется смесью минеральных частиц крупного, среднего и мелкого размера при использовании отходов обогащения железных руд.

Для достижения поставленной цели была определена следующая задача:

установить степень влияния гранулометрического состава компонентов низкопрочного бетона на его прочность при использовании отходов обогащения железных руд.

4. Материалы и методы исследований

4. 1. Материалы и оборудование, использованные в экспериментах

При проведении экспериментов в качестве вяжущего использовали Криворожский портландцемент СЕМ 42,5. В качестве крупного заполнителя применяли гранитный щебень с максимальной крупностью зерен 20 мм. В качестве мелкого заполнителя использован песок кварцевый речной средней плотностью породы 2630 кг/м³, насыпной плотностью 1550 кг/м³, пустотностью 41%, модуль крупности 1,56. Содержание вредных примесей в пределах нормы. Результаты рассева приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты рассева днепровского речного кварцевого песка

Остаток на ситах, %	Размеры отверстий сит, мм					
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	менее 0,14
Частные	1,0	2,4	7,85	37,9	42,05	8,8
Полные	1,0	3,40	11,25	49,15	91,2	100

В качестве минеральной добавки использовались отходы обогащения железных руд Южного горно-обогатительного комбината (Украина), которые отвечали требованиям норм. Особенностью отходов обогащения железных руд Южного горно-обогатительного комбината является неравномерный зерновой состав, который существенно зависит от места их отбора. Данные отходы могут состоять как из более крупных фракций, относящихся к мелкому заполнителю (песку), так и более мелких, относящихся к минеральным добавкам наполнителям. Фракционный состав отходов обогащения железных руд Южного горно-обогатительного комбината (ГОК), используемый в данном эксперименте, представлен в табл. 2, а химический в табл. 3.

Таблица 2

Гранулометрический состав отходов обогащения железных руд Южного ГОКа

Содержание в % по массе фракций размером, мкм								
менее 5	6–10	11–20	21–30	31–40	41–50	51–66	67–100	более 100
4,13	3,54	7,93	15,71	19,7	12,41	11,48	15,39	9,71

Таблица 3

Химический состав отходов обогащения железных руд Южного ГОКа

Химический состав, %					
SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
67,47	1,3	9,06	10,84	4,64	6,69

Для модификации бетонов, в частности, улучшения технологических свойств бетонной смеси, применяли комплексные добавки местного производства ПЛКП-2. Эти добавки изготовлены на основе вторичных продуктов коксохимического производства. Указанные добавки содержат в основном тиосульфаты, радониды, сульфаты натрия и некоторые другие вещества. Для улучшения пластифицирующих свойств дополнительно введена добавка С-3.

4. 2. Методика определения показателей свойств бетонов

Составы исследуемых бетонных смесей определяли по требованиям норм. В соответствии с требованиями норм в бетон вводили в качестве минеральной добавки отходы обогащения железных руд, гранулометрический состав которых представлен в табл. 2, а химический в табл. 3. Бетонную смесь готовили в лабораторной бетономешалке принудительного действия емкостью 25 литров. Компоненты дозировали по массе, перемешивали сначала сухие компоненты, а затем с водой. Время перемешивания одного замеса составляло 3 минуты. Уплотняли контрольные образцы с размером стороны 100мм на стандартной лабораторной виброплощадке с частотой вибрационного воздействия 50 Гц, амплитудой 0,35–0,5 мм. Образцы твердели в стандартных условиях при температуре (293 ± 2) К при относительной влажности (95 ± 5) % и испытывались в 28-ми суточном возрасте на сжатие в соответствии с требованиями норм.

Основной задачей определения рационального состава бетона для подготовки под фундаменты и перекрытие, устраиваемое методом безопалубочного формования, является обеспечение необходимой прочности на сжатие при минимальном расходе цемента. Обобщающим показателем эффективности использования цемента является соответствующий коэффициент ($K_{эф.ц}$), показывающий получаемую удельную прочность бетона на единицу расхода цемента в нем, определяемый по формуле:

$$K_{эф.ц} = 10f_{cm}/Ц, \quad (1)$$

где f_{cm} – средняя прочность на сжатие образца бетона в виде куба с размером ребра 150 мм в МПа, определяемая по результатам испытаний, необходимая для обеспечения требуемого класса бетона по прочности; Ц – расход цемента на кубометр бетона, кг.

Средняя прочность образца бетона на сжатие в виде куба с размером ребра 150 мм при коэффициенте вариации прочности бетона $C_v = 13,5$ % определяется по формуле:

$$f_{cm} = f_{ck.cube}/0.778, \quad (2)$$

где $f_{ck.cube}$ – характеристическая прочность образца бетона на сжатие в виде куба с размером ребра 150 мм в МПа.

Характеристическая прочность образца бетона на сжатие в виде куба с размером ребра 150 мм в МПа определяется по формуле:

$$f_{ck.cube}=f_{cm}(1-1,64C_v), \quad (3)$$

где C_v – коэффициент вариации прочности бетона.

Затем определяют водоцементное отношение, необходимое для обеспечения требуемой удобоукладываемости бетонной смеси и прочности затвердевшего бетона:

$$B/\Pi=AR_{\Pi}/(f_{cm}+0,5AR_{\Pi}), \quad (4)$$

где R_{Π} – активность используемого цемента; A – коэффициент, значение которого принимается по нормам.

После определения требуемого водоцементного отношения определяют требуемый расход цемента на кубометр бетона для обеспечения необходимой прочности бетона:

$$\Pi=B:B/\Pi. \quad (5)$$

Необходимый расход воды (B) на кубометр бетонной смеси рассчитывают по нормам в зависимости от требуемой удобоукладываемости бетонной смеси и максимальной крупности заполнителя.

Стандартами, минимальный класс бетона предусмотрен С8/10, поэтому проектировщики этот класс бетона и закладывают в проекты для конструкций, в которых высокая прочность не требуется. При обеспечении этого класса бетона средняя прочность на сжатие образца бетона в виде куба с размером ребра 150 мм (f_{cm}) должна составлять 12,85 МПа. Для бетонной подготовки под перекрытие, устраиваемое по безопалубочной технологии, достаточно средней кубиковой прочности 5–7 МПа.

5. Результаты исследования прочности бетона и необходимого расхода цемента

Для решения поставленной в работе задачи был произведен расчет требуемого расхода цемента для нескольких видов тяжелого бетона на гранитном щебне фракции 20 мм (табл. 4).

Таблица 4

Расход цемента на кубометр бетона и его прочность

№ сост.	$f_{ck.cube}$, МПа	f_{cm} , МПа	B/Π	Π , кг/м ³	$K_{эф.\Pi}=10f_{cm}/\Pi$
R_{Π} 30 МПа; ОК=5–7 см; $A=0,6$; $B=200$ дм ³ /м ³					
1	5	6,43	1,16	172,4	0,37
2	10	12,85	0,82	243,9	0,53
3	15	19,28	0,64	312,5	0,62
4	20	25,71	0,52	384,6	0,67
R_{Π} 30 МПа; ОК=5–7 см; $A=0,6$; $B=180$ дм ³ /м ³					
5	5	6,43	1,16	155,2	0,41

6	10	12,85	0,82	219,5	0,59
7	15	19,28	0,64	281,2	0,69
8	20	25,71	0,52	346,1	0,74
$R_{ц} 40 \text{ МПа}; OK=5-7 \text{ см}; A=0,6; B=200 \text{ дм}^3/\text{м}^3$					
9	5	6,43	1,3	153,8	0,42
10	10	12,85	0,97	206,2	0,62
11	15	19,28	0,77	259,7	0,74
12	20	25,71	0,64	312,5	0,82
$R_{ц} 40 \text{ МПа}; OK=5-7 \text{ см}; A=0,6; B=180 \text{ дм}^3/\text{м}^3$					
13	5	6,43	1,3	138,5	0,46
14	10	12,85	0,97	185,6	0,69
15	15	19,28	0,77	233,8	0,82
16	20	25,71	0,64	281,2	0,91

В табл. 5 приведены результаты испытания образцов затвердевшего бетона.

Таблица 5

Составы бетона с наполнителем из отходов обогащения железных руд

№ со- става	Расход материалов на м^3 , кг						f_{cm} , МПа	$K_{эф.п} = 10f_{cm}/Ц$
	Ц	Н	П	Щ	В	ПФС, %		
1	75	425	550	1175	180	0,5Ц+0,25Н	9,7	1,29
2	75	130	820	1200	180	0,5Ц+0,25Н	5,3	0,71
3	100	400	550	1175	180	0,5Ц+0,25Н	14,8	1,48
4	100	130	800	1200	180	0,5Ц+0,25Н	8,2	0,82
5	125	375	550	1175	180	0,5Ц+0,25Н	18,4	1,47
6	125	130	775	1200	180	0,5Ц+0,25Н	12,1	0,97
7	150	350	550	1175	180	0,5Ц+0,25Н	21,5	1,43
8	150	130	750	1200	180	0,5Ц+0,25Н	13,9	0,93
9	175	325	550	1175	180	0,5Ц+0,25Н	24,2	1,38
10	175	130	725	1200	180	0,5Ц+0,25Н	16,8	0,96

Примечания: Ц – цемент; Н – наполнитель (отходы обогащения железных руд); Щ – щебень; П – песок; В – вода

Часть составов бетона, приведенных в табл. 5, рассчитывали по требованиям норм, а часть с учетом полученных нами ранее закономерностей, соблюдая соотношение крупных, средних и мелких компонентов равном 52:23:25.

На рис. 1, 2 показаны зависимости коэффициента использования цемента от прочности бетона.

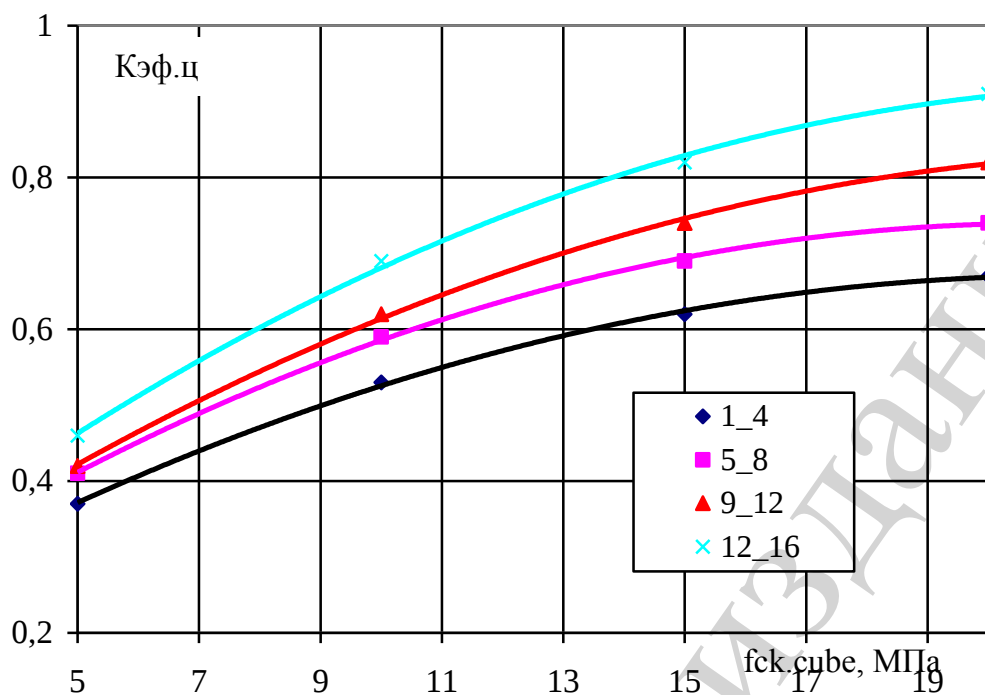


Рис. 1. Зависимость коэффициента использования цемента от прочности бетона: 1_4 – составы бетона №1 – 4 по табл. 4; 5_8 – составы бетона № 5 – 8 по табл. 4; 9_12 – составы бетона № 9 – 12 по табл. 4; 12_16 – составы бетона №12 – 16 по табл. 4.

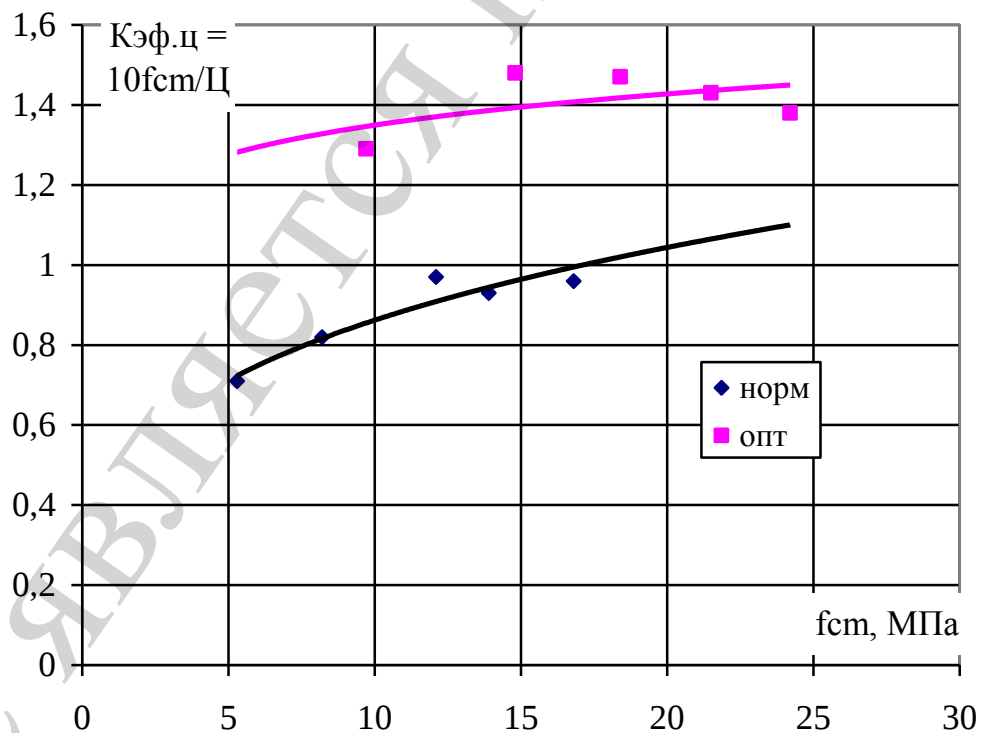


Рис. 2. Зависимость коэффициента использования цемента от прочности бетона

6. Обсуждение результатов исследований прочности бетона

Анализом результатов исследований, представленных в табл. 4, 5 и на рис. 1 и 2, установлены следующие закономерности.

При определении минимально необходимого расхода цемента для такого бетона по традиционным методикам (табл. 4) коэффициент эффективности использования цемента почти в два раза меньше чем для бетонов более высокой прочности.

Проведенными ранее исследованиями установлено, что причиной такого резкого снижения коэффициента эффективности использования цемента в бетонах низкой прочности, является нерациональный зерновой состав компонентов бетонной смеси [9]. Рациональным гранулометрическим составом компонентов, обеспечивающим пониженную дефектность структуры бетона, а, следовательно, и эффективное использование портландцемента, установлен состав с соотношением крупного, среднего и мелкого компонентов по массе 52:23:25 [9]. При отклонении от этого соотношения каждого из компонентов в пределах 2–3 частей эффективность использования цемента, выражаемая соответствующим коэффициентом, определяемом по формуле (1), практически не изменяется. Средний размер зерен крупных, средних и мелких компонентов должен составлять примерно 100:10:1 с возможным изменением в пределах 10–15 %.

Введение добавки-наполнителя из отходов обогащения железных руд, а также рационального количества пластифицирующей добавки обеспечивает существенное улучшение прочности затвердевшего бетона. А также, соответственно, и коэффициента эффективности использования цемента по сравнению с прогнозируемым, определяемым по требованиям норм (составы 1, 5, 9, 13 табл. 4 и составы 7–10 табл. 5). Введение рекомендуемого количества отходов обогащения железных руд в 1,4–1,8 раза повышает эффективность использования цемента по сравнению с составами, содержащими максимальное рекомендуемое количество по требованиям норм.

Для обеспечения получения бетона класса С8/10 по прочности при введении рекомендуемого нормами количества отходов обогащения железных руд 130 кг/м^3 и рационального количества пластифицирующей добавки достаточно примерно 125 кг/м^3 цемента (состав 6 табл. 5). Это значительно меньше, чем рассчитанное по требованиям норм количество такого же цемента (состав 10, 14 табл. 4) без отходов обогащения железных руд. Но бетон этого же класса по прочности можно получить с запасом прочности 15 % при расходе цемента 100 кг/м^3 и введением 400 кг/м^3 отходов обогащения железных руд, обеспечивая рациональный зерновой состав компонентов бетонной смеси.

Бетон прочностью около 10 МПа можно получить и при расходе цемента 75 кг/м^3 бетонной смеси и 425 кг/м^3 вторичных продуктов обогащения железных руд, обеспечивая рациональный гранулометрический состав компонентов бетонной смеси (состав 1 табл. 5).

Но при таком низком расходе цемента требуется очень тщательное перемешивание компонентов бетонной смеси, чтобы обеспечить равномерное распределение вяжущего.

Визуальными наблюдениями установлена хорошая однородность, связность, нерасслаиваемость и хорошее уплотнение смесей с рациональным зерновым составом компонентов (составы 1, 3, 5, 7, 9 табл. 5).

Бетоны с расходом цемента 300–450 килограммов и минеральными добавками до 130 килограммов на кубометр бетона, составы которых определяются по требованиям норм, практически отвечают определенным нами требованиям рационального зернового состава компонентов. Поэтому для обеспечения повышенного коэффициента эффективности использования цемента в бетонах низкой прочности необходимо целенаправленно обеспечивать определенный ранее рациональный зерновой состав компонентов 52:23:25.

При проектировании состава бетонной смеси с рациональным гранулометрическим составом компонентов к крупному заполнителю следует отнести зерна крупностью более 5 мм, к среднему – от 5 мм до 0,14 мм, а к мелкому – от 0,14 мм и менее. Следовательно, если в составе щебня фракций крупностью 5–0,14 мм 97–98 %, его можно отнести к крупной фракции. А из представленного в табл.1 фракционного состава песка 92 % следует отнести к средней фракции, а 8 % – к мелкой. В гранулометрическом составе отходов обогащения железных руд (табл. 5) около 90 % относятся к мелкой фракции (минеральным добавкам наполнителям), а около 10 % – к средней фракции. К мелкой фракции относится также весь цемент, зерна которого менее 0,1 мм (100мкм).

В составе кубического метра тяжелого бетона сухих компонентов 2200–2250 кг. Для определения расхода каждого из них из вышеприведенного условия обеспечения рационального гранулометрического состава компонентов примем их суммарный расход 2200 кг на кубометр бетонной смеси. Поскольку содержание мелких фракций в составе песка примерно такое же, как в отходах обогащения железных руд, можно содержание каждой составляющей определять по соотношению крупной средней и мелкой фракций равном 52:23:25 без учета поправок на содержание других фракций. Следовательно в проектируемых составах по нашей методике необходимо: щебня (Щ) $\text{Щ} = 2200 \cdot 0,52 = 1144$ кг; песка (П) $\text{П} = 2200 \cdot 0,23 = 506$ кг; цемента (Ц) и минеральной добавки из отходов обогащения железных руд (Д) $\text{Ц} + \text{Д} = 2200 \cdot 0,25 = 550$ кг.

Результаты проведенных исследований позволяют сократить на 15-20 % расход цемента при производстве бетонов низкой прочности. Однако при этом следует учитывать изменчивость гранулометрического состава отходов обогащения железных руд. Это влечет за собой необходимость строгого контроля свойств указанных отходов и оперативную корректировку, при необходимости, составов бетона.

Результаты проведенных исследований позволяют увеличить использование отходов обогащения железных руд, что приведет к улучшению экологической обстановки в районах добычи и переработки железных руд. Областью применения результатов исследований, приведенных в данной работе, является монолитное возведение зданий и сооружений и, в первую очередь, для устройства бетонной подготовки под перекрытия при строительстве подземных паркингов по технологии «сверху-вниз».

Данные исследования являются частью многолетних исследований возможности и области применения отходов обогащения железных руд в производстве строительных материалов и поиска путей сокращения расхода цемента при производстве бетонов.

Результаты данных исследования могут быть основой для совершенствования рациональных составов бетонов путем применения гиперпластификаторов, мицеллярного катализа и других современных решений в области строительного материаловедения.

7. Выводы

1. Определена степень влияния гранулометрического состава компонентов низкопрочного бетона на его прочность. Подтверждено, что оптимальным является состав заполнителя с соотношением крупного, среднего и мелкого компонентов по массе 52:23:25.

2. Определена степень влияния количества отходов обогащения железных руд на прочность низкопрочных бетонов, которая обеспечивает повышение коэффициента использования цемента в данных бетонах в 1,4 раза до уровня высокопрочных.

Литература

1. Вильман Ю. А. Технология строительных процессов и возведения зданий, современные и прогрессивные методы. Москва, 2014. 336 с.
2. Вандоловский А. Г., Чайка В. М. Міцнісні властивості особливодрібнозернистого бетону на відходах гірничо-збагачувальних комбінатів у ролі заповнювача // Збірник наукових праць УкрДУЗТ. 2016. № 160. С. 17–24.
3. Шишкин А. А., Шишкина А. А., Щерба В. В. Особенности использование отходов горно-обогатительных комбинатов в производстве строительных материалов // Вісник ДНАБА. 2013. № 1. С. 8–12.
4. Ashok P., Sureshkumar M. P. Experimental Studies on Concrete Utilising Red Mud as a Partial Replacement of Cement With Hydrated Lime // IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE). 2013. P. 1–10.
5. Исследование возможности использования отходов флотации железных руд для получения смешанных цементов / Шаповалов Н. А., Загороднюк Л. Х., Тикунова И. В., Щекина А. Ю., Ширяев О. И., Крайний А. А. и др. // Фундаментальные исследования. 2013. № 10. С. 1718–1723.
6. Порошковые бетоны с применением техногенного сырья / Толстой А., Лесовик В., Задорожний Л., Ковалева И. // Вестник МГСУ. 2015. № 11. С. 101–109. doi: <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2015.11.101-109>
7. Erdem T. K., Kırca Ö. Use of binary and ternary blends in high strength concrete // Construction and Building Materials. 2008. Vol. 22, Issue 7. P. 1477–1483. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.03.026>
8. Swamy R. N., Sakai M., Nakamura N. Role of Superplasticizers and Slag for Producing High Performance Concrete // The Fourth CANMET/ACI International Conf. on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete: ACI SP-148-1. Proceedings. Detroit (USA), 2006. P. 1–26.

9. Shetty K. K., Nayak G., Vijayan V. Effect of red mud and iron ore tailings on the strength of self-compacting concrete // European Scientific Journal. 2014. Vol. 10, Issue 21. P. 168–176
10. Shishkin A., Netesa M., Scherba V. Effect of the iron-containing filler on the strength of concrete // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. Vol. 5, Issue 6 (89). P. 11–16. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.109977>
11. Shishkina A., Shishkin A. Research into effect of complex nanomodifiers on the strength of fine-grained concrete // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. Vol. 2, Issue 6 (92). P. 29–33. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.127261>