

УДК 691.34

## ПОДБОР СОСТАВА И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ БЕТОНА НА МЕЛКИХ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЯХ

Кислицына Д.В., студент гр. УЗс-161, V курс  
Королева Е.А., студент гр. УЗс-161, V курс  
Гилязидинова Н. В., к.т.н., профессор  
Кузбасский государственный технический университет  
имени Т.Ф. Горбачева  
г. Кемерово

В данной работе представлены результаты подбора состава тяжелого бетона, в котором в качестве мелкого заполнителя выступает золошлаковая смесь (ЗШС) и зола-уноса, а также приведены физико-механические характеристики полученного бетона.

На ТЭЦ, ГРЭС, ТЭС Кузбасса скопилось большое количество ежедневно пополняемых запасов золошлаковых, зольных отходов, на основе которых можно организовать производство ряда строительных материалов [1-6].

Использование техногенных отходов для изготовления строительных материалов приведет к следующему:

1. Понижение стоимости строительных материалов;
2. Восполнение дефицита природных минеральных ресурсов за счет использования безопасных техногенных отходов, которыми являются золошлаковые и зольные отходы;
3. Снижение общего загрязнения окружающей среды.

Бетон – это искусственный композиционный строительный материал, получаемый в результате затвердевания растворной бетонной смеси, состоящей из вяжущего (минерального или органического), крупного и/или мелкого заполнителя (щебень, гравий, песок, мин. порошок и др.), воды (реже без нее) и добавок (при необходимости).

Существенным фактором, обеспечивающим плотную структуру бетона, является рациональное соотношение долей крупного и мелкого заполнителя.

При назначении расхода составляющих бетонной смеси, учитывают экономичность и качество материалов, формуемость и безупречную прочность бетона. Золошлаковые смеси имеют неоднородные характеристики, поэтому их расход определяли экспериментально. Свойства золошлаковых смесей нормируются в документах [7-8].

В ходе исследования установили, что недостаток ЗШС затрудняет укладку и бетон имеет пористую структуру. При завышенном расходе ЗШС наблюдается снижение прочности бетона.

Установлено, что для тяжелых бетонов на ЗШС и расходом цемента менее 400 кг на 1 м<sup>3</sup> оптимальное значение доли песка составляет 0,14÷,25, а с

большим расходом вяжущего –  $0,12 \div 0,17$ . Установленные зависимости должны учитываться при подборе состава бетонов.

В результате проведения анализа зернового состава ЗШС видно, что кривые отсева не вписываются в зону оптимального состава мелкого заполнителя тяжелого бетона и характеризуются избытком фракции 2,5 (рис. 1). По остальным показателям ЗШС удовлетворяет требованиям ГОСТ 25592-2019 «Смесь золошлаковая тепловых электростанций».

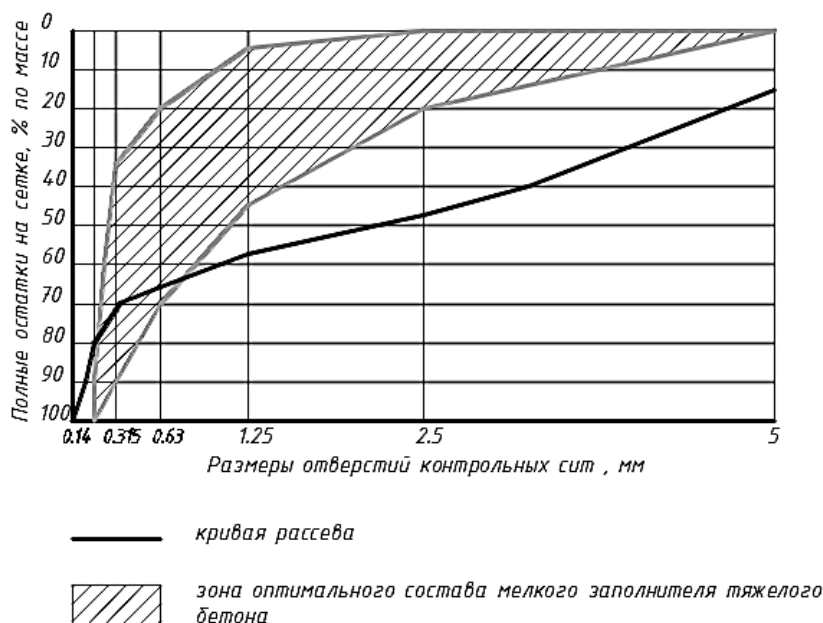


Рис. 1. Зерновой состав золошлаковых смесей

В качестве крупного заполнителя может быть использован гравий или щебень. Природный крупный заполнитель является инертным и не влияет на динамику набора прочности.

При подборе составов бетонов были использованы добавки-пластификаторы. Введение добавок пластификаторов в состав тяжелого бетона на природных щебне или гравий и использование золошлаковых смесей в мелком заполнителе.

Следует отметить, что бетоны на ЗШС при использовании их для изготовления ЖБ конструкций, требует введения в их состав ингибиторов коррозии стали.

Приготовление бетонной смеси осуществлялась вручную. Уплотнение бетонной смеси осуществлялось вибрированием со стандартным режимом колебаний. Выдерживание бетона производилось в естественных условиях (для монолитного бетона) при температуре 18-20 °С и влажности 60-80 %. Подъем температуры начинается через три часа после формования и продолжается четыре часа. Прогревание при температуре 80-90 °С длится шесть часов. Остывают образцы вместе с пропарочной камерой около восьми часов.

Для определения рациональной области применения вещественного состава бетона различных марок в ходе исследования определялось его сопротивление сжатию.

Результаты испытаний образцов бетона на сжатие в зависимости от расхода цемента и вида заполнителей приведены на рис. 2.

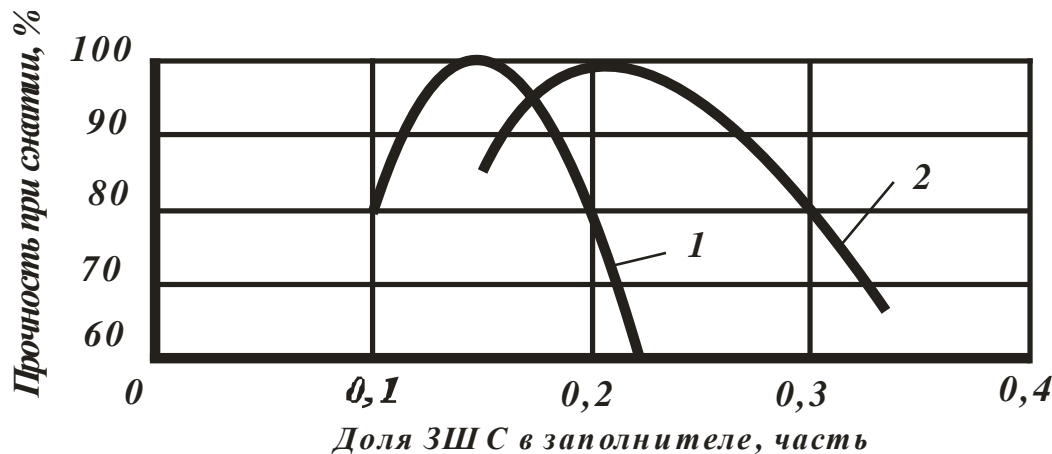


Рис. 2. Зависимость прочности бетона от количества золошлаковой смеси при содержании вяжущего в одном кубометре бетона:  
 1 – 500 кг; 2 – 250 кг

При минимальной расходе цемента  $210 \text{ кг/м}^3$ , фактическая прочность его составила в возрасте 28 суток после пропаривания  $218 \text{ кгс/см}^2$ , что отвечает классу по прочности В15 (М200). С увеличением расхода цемента до  $300 \text{ кг/м}^3$ , прочность при сжатии возрастает до значений, отвечающих классу В20 (М250), а при назначении расхода вяжущего до  $390 \text{ кг/м}^3$  до значений, отвечающих В27,5 (М350). Дальнейшее увеличение расхода цемента до  $450\text{-}544 \text{ кг/м}^3$  не ведет к существенному росту прочности бетона (см. рис. 2).

Отсюда следует, что применение мелкого золошлакового заполнителя эффективно для изготовления бетонов классов В7,5-В27,5. При этом расход цемента М300 снижается на 10-30 %.

Для улучшения реологических свойств бетона в него можно вводить золу-уноса. Добавка золы уноса позволяет качественно уложить бетонную смесь в формы и улучшить его прочностные показатели. Оптимальный расход золы-уноса колеблется от 30-50 % от общего расхода мелкого заполнителя. Это количество, как правило, достаточно для получения удобоукладываемой смеси. При этом количество золы-уноса для армированных конструкций ограничивается 30 % от массы цемента во избежание коррозии.

Результаты испытаний на сжатие бетонов с применением золошлаковой смеси и золоуноса представлены на рис. 3 и в табл. 1.

Как видно из результатов исследований прочность при растяжении исследуемых бетонов соответствует нормативным характеристикам обычного тяжелого бетона.

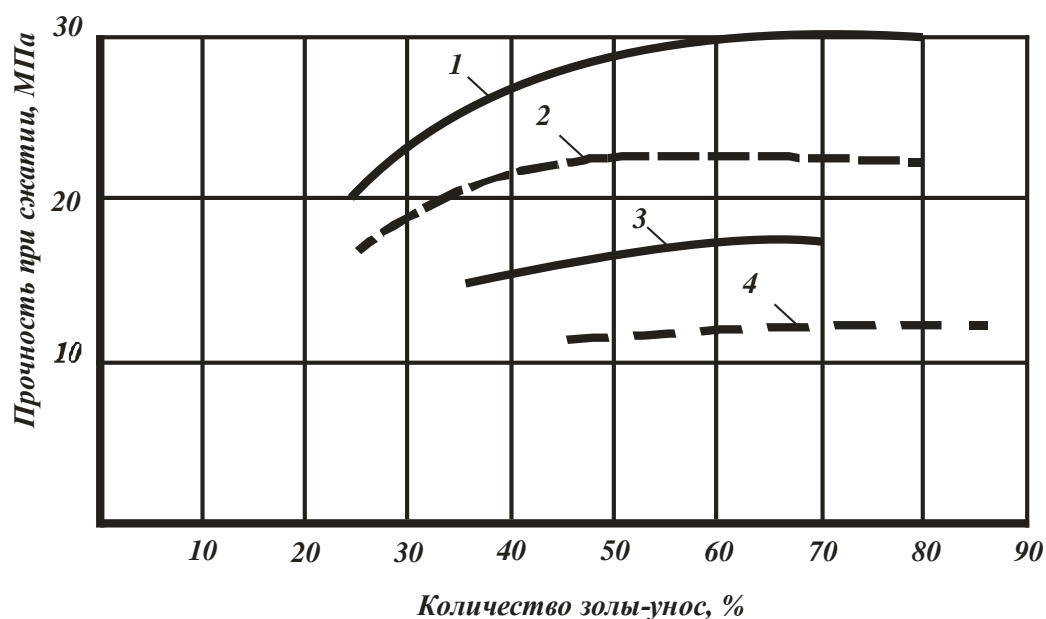


Рис. 3. Влияние добавки золы-уноса на прочность образцов при содержании цемента в одном кубометре бетона:  
 1 – 500 кг/м³; 2 – 400 кг/м³; 3 – 300 кг/м³; 4 – 220 кг/м³

Таблица 1

Прочностные характеристики бетона на природном крупном заполнителе, крупнозаполнителе природного щебня

Расход цемента На 1 кг бетона	Доля золы унос в мелком заполнителе, %	Прочность при сжатии через 28 суток после пропаривания, МПа
500	80	30
500	51	28,5
500	25	22
400	80	23
400	53	22
400	25	18
300	66	18,6
300	73	18,4
300	35	15,3
220	86	13
220	47	11,2
220	70	12

Характеристики бетона при его работе на растяжение определялись путем испытания образцов-кубов на растяжение при раскалывании. Результаты испытаний приведены в табл. 2.

Таблица 2

Прочностные характеристики бетонов с использованием ЗШС

Вид заполнителя		Прочность бетона при сжатии, МПа	Прочность бетона на растяжении при раскалывании, МПа
крупного	мелкого		
Щебень/гравий	Золошлаковая смесь	10,0	0,7
		15,0	1,08
		20,0	1,49
		40,0	1,65

Как видно из результатов исследований прочность при растяжении исследуемых бетонов соответствует нормативным характеристикам обычного тяжелого бетона.

Бетон, изготовленный на основе ЗШС и золы-уноса, обладает высокими упругими свойствами, так как оптимально упакованный крупный заполнитель из естественного гравия создает достаточно жесткий и в то же время упругий скелет, который, несмотря на наличие в составе этого бетона слабых пористых мелких шлаковых зерен, уменьшающих его среднюю плотность, хорошо сопротивляется деформациям [9-10].

В ходе проведения исследования было выявлено, что исследуемый бетон обладает достаточной водонепроницаемостью для того, чтобы можно было рекомендовать его для применения во всех бетонных конструкциях, за исключением гидротехнических, испытывающих напор воды [11-12].

Для определения долговечности бетона в настоящих исследованиях определялось водопоглощение, морозостойкость бетонов различных марок.

Водопоглощение бетона оказалось несколько выше средних нормативных величин.

Морозостойкость бетонов низких классов (В7.5-В12.5) незначительна – эти бетоны могут применяться в климатических условиях Кузбасса для конструкций II класса по степени ответственности при эксплуатации в условиях воздушно-влажностного состояния либо при эпизодическом водонасыщении. С ростом прочностных характеристик бетона морозостойкость их увеличивается – они становятся пригодными для применения в конструкциях I класса по степени ответственности.

Таким образом, экспериментально подтверждено, что физико-механические характеристики бетона с использованием ЗШС удовлетворяют нормативным требованиям. А добавление золы-уноса повышает прочность и

удобоукладываемость бетона. Однако, наиболее эффективно применять золу-уноса в бетонах низких классов, в частности в бетонах, применяемых для строительства плотин, фундаментов, оснований.

Помимо снижения расхода цемента и заполнителей, улучшения технологических свойств бетонных смесей, осуществляется постепенная ликвидация золошлакоотвалов Кузбасса. Активное использование золошлакоматериала позволит уменьшить затраты на содержание действующих отвалов, а также исключит необходимость создания новых.

Следует отметить и экологическую сторону вопроса. Сократится территория нарушенных земель, на которых впоследствии возможно провести рекультивацию. Существует проблема пыления золы с поверхности отвалов, что может сказываться на здоровье людей, живущих на прилегающих территориях.

### Список литературы:

1. Gilyazidinova N. Use of slag concrete in construction of underground structures and mines / N. Gilyazidinova, E. Shabanov, X. Liu // E3S Web of Conferences. IVth International Innovative Mining Symposium. 2019. С. 01039.

2. Gilyazidinova N. V. The research in the use of monolithic concrete for the mine construction / N. V. Gilyazidinova, N. Yu. Rudkovskaya, T. N. Santalova // Coal in the 21st Century: Mining, Processing and Safety. 2016. С. 62-65.

3. Каргин А. А. Исследование свойств золы-уноса кемеровских ТЭС как сырья для производства щелочно-активированного вяжущего / А. А. Каргин // Перспективные материалы в технике и строительстве: ПМТС 2015. Материалы II Всероссийской научной конференции молодых ученых с международным участием. Томский государственный архитектурно-строительный университет. 2015. С. 416-419.

4. Каргин А. А. Исследование применения различных связующих материалов при получении безобжигового зольного гравия на основе зол Кемеровских электростанций / А. А. Жихарев, А. А. Каргин // Экологические проблемы промышленно развитых и ресурсодобывающих регионов: пути решения. Сборник трудов II Всероссийской молодежной научно-практической конференции. 2017. С. 403.

5. Kargin A. Fly-ash geo-polymer foamed concrete / A. Kargin, V. Baev, N. Mashkin // AIP Conference Proceedings. 2017. С. 020005.

6. Kargin A. Fly ash: perspective resource for geo-polymer materials production / A. Kargin, A. Uglyanica, V. Baev, N. Mashkin // AIP Conference Proceedings. Proceedings of the II All-Russian Scientific Conference of Young Scientists "Advanced Materials in Technology and Construction". 2016. С. 070009.

7. ГОСТ 25818-2017 Зола-унос тепловых электростанций для бетона. Технические условия [Текст]. – Взамен ГОСТ 25818-91; Введ. 2018-03-01 – Москва: Изд-во Стандартиформ, 2017. – 23 с.

8. ГОСТ 25592-2019. Смеси золошлаковые тепловых' электростанций для бетонов .- Москва ' – Взамен ГОСТ 25592-91; Введ. с 01.07.97 по 01.06.20. – Москва: Изд-во стандартов, 2019. – 14 с.

9. Бетоны. Материалы. Технологии. Оборудование. – Москва : Стройинформ; Ростов н/Д: Феникс, 2006.

10. Чумаков, Л. Д. Технология заполнителей бетона (практикум): учеб. пособие для студентов вузов / Л. Д. Чумаков. – Москва : АСВ, 2006.

11. Санталова Т. Н. Использование отходов тепловых электростанций для нужд строительства / Н. В. Гилязидинова, М. И. Диамант, Т. Н. Санталова // Безопасность жизнедеятельности предприятий в угольных регионах. Материалы V Международной научно-практической конференции. Ответственные редакторы Ю.А. Антонов, Л.А. Шевченко. 2002. С. 160-161.

12. Санталова Т. Н. Технология строительных процессов в дипломном проектировании / Н. В. Гилязидинова, А. В. Угляница, Н. Ю. Рудковская, Т. Н. Санталова // Кемерово, 2006.