



УДК:691.327.32:666.97.035.4 (045/046)

ДЖУСУПОВА М.А., КГУСТА им. Н. Исанова, Бишкек, Кыргызская Республика,  
e-mail: dzmahavat@gmail.com  
DZHUSUPOVA M.A., KSUCTA n.a. N. Isanov, Bishkek, Kyrgyz Republic.

КУЛЬШИКОВА С.Т., КГУСТА им. Н. Исанова, Бишкек, Кыргызская Республика,  
e-mail: saule.kulshikova@mail.ru  
KULSHIKOVA S.T., KSUCTA n.a. N. Isanov, Bishkek, Kyrgyz Republic.

## МЕЛКОЗЕРНИСТЫЕ БЕТОНЫ НА ВЯЖУЩИХ И ЗАПОЛНИТЕЛЯХ ИЗ ТОПЛИВНЫХ ОТХОДОВ

### SHALLOW FERROUS CONTAINERS ON BINDING AND FILLERS FROM FUEL WASTE

*Макала оштун жана жакшы бетон толтургуч катарында бир толтургуч катарында күл шлак аралашманын колдонуу аркылуу курулуш тармагынын ресурстук базасын көбөйтүүнүн актуалдуу маселеге арналган. жакшы бетон курамын оптималдаштыруу жана калдыктарды күйүүчү пайдалануунун натыйжалуулугун баалоо. майда бүртүкчөлүү бетон негизги физикалык жана механикалык касиеттери*

**Өзөк сөздөр:** техногендик чийки зат; күл аралашмасы; аралаштыруу; Жаргылчак тартып; курама мукабалагыч; айнек баскычы; гидротехникалык иш; физикалык жана механикалык касиеттери; чачуу; оптималдаштыруу; натыйжалуулугун; күч.

*Статья посвящена актуальной проблеме расширения сырьевой базы строительной индустрии за счет использования золошлаковой смеси как наполнителем в цементе и как наполнителем в мелкозернистом бетоне. Проведена оптимизация состава мелкозернистого бетона и оценена эффективность использования топливных отходов. Определены основные физико-механические характеристики мелкозернистого бетона.*

**Ключевые слова:** техногенное сырье; золошлаковая смесь; смешение; измельчение; композиционное вяжущее; стеклофаза; гидравлическая активность; физико-механические свойства; дисперсность; оптимизация; эффективность; прочность.

*The article is devoted to the urgent problem of expanding the resource base of the construction industry through the use of ash and slag mixture as a filler in cement and as a filler in fine-grained concrete. The composition of fine-grained concrete was optimized and the efficiency of using fuel waste was evaluated. The main physicomachanical characteristics of fine-grained concrete are determined.*

**Key words:** technogenic raw materials; ash mixture; mixing; grinding; composite binder; glass phase; hydraulic activity; physical and mechanical properties; dispersion; optimization; efficiency; strength.

Ресурсо- и энергосберегающими бетонами нового поколения являются бетоны на композиционных вяжущих веществах и заполнителях с использованием техногенных отходов, если принимать во внимание не только их технические, но и экономические показатели, с попутным решением экологических задач. Выпуск таких композиционных вяжущих веществ свою очередь позволит ограничить строительство новых цементных заводов, что позволит сократить выброс углекислого газа CO<sub>2</sub> в атмосферу от известняка и отходящих газов цементных печей и частично решить экологическую проблему в регионах.



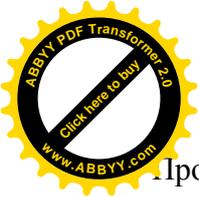
В Кыргызстане только Бишкекская ТЭЦ вырабатывает около 1 млрд кВт-часов электро- и более 2 млн гигакалорий тепловой энергии. Построенная 1961 году на окраине, БТЭЦ в настоящее время находится в центре города ежедневно выбрасывает в окружающую среду 20-25 тонн золы и различные соединения оксидов углерода, азота, серы и других химических веществ. Среднегодовой объем золы и шлаковых отходов составляет 300-350 тысяч тонн. Кроме того, золоотвалы Бишкекской ТЭЦ занимают 178 гектаров земель. В зонах воздействия золоотвалов создается неблагоприятная экологическая ситуация из-за пылеобразования, а также вымывания компонентов золы, попадания их в почву и подземные воды, что оказывает негативное воздействие на окружающую среду. Очевидно, что такое промышленное сооружение как столичная теплоэлектроцентраль должно находиться за чертой города. По нормам у пылеугольной станции зона отчуждения должна составлять не менее 1 км.

Основным потребителем ЗШО может являться строительная индустрия. Вопросами утилизации их посвящено множество зарубежных и отечественных исследований. В настоящее время ЗШО применяются главным образом вместо мелкого заполнителя в бетонах, однако реальную экономию может дать их использование в качестве минеральной добавки (МД) для цементов [1,2,3]. Научным обоснованием возможности использования МД в составе цемента является теория В. Н. Юнга. Он развил представление о цементном камне, назвал его «микробетоном» и доказал, что затвердевший цементный камень содержит большое количество непрореагировавших зерен цемента, которые можно заменить без потери прочности соответствующими фракциями МД.

Весьма эффективно и перспективно использование ЗШО для получения композиционных вяжущих, получаемых путем сухого помола их с цементом. Недостатком этого способа является необходимость организации специального производства, что требует существенных капиталовложений. Эффективной заменой классическому портландцементу может стать композиционный цемент на базе портландцемента и мелкодисперсных ЗШО. Производство такого цемента может осуществляться непосредственно на предприятии. Встроенный в технологическую цепочку бетонного завода помольный агрегат способен производить активированный композиционный цемент различной степени наполненности добавками, регулируя марку цемента в соответствии с реальными потребностями производства.

Кроме того, ЗШО могут успешно использоваться в качестве заполнителей для бетона различных классов и назначения. Замена природных заполнителей топливным гранулированным шлаком снижает расход цемента за счет улучшения гранулометрии смеси заполнителей, а также упрочнения контактной зоны между шлаком и цементным камнем, обеспечивая снижение общих энергетических и трудовых затрат на единицу продукции. Расход цемента снижается на 4—6% на 1 м<sup>3</sup> бетона. Экономический эффект зависит от стоимости шлака и природных заполнителей в конкретных условиях производства [1, 5].

Контактная зона между цементной матрицей и заполнителем в тяжелых бетонах обычного состава является каналом, по которому вглубь изделий проникают агрессивные агенты: газы, ионы  $SO_4^{2-}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Cl^-$  и т.д. По своему составу и свойствам контактная зона отличается от остального цементного камня. Срачивание зерна заполнителя с цементным камнем связано с миграцией гидроксида кальция, образующегося при гидролизе трехдвухвалентного силиката, к поверхности зерен. В результате на поверхности зерен заполнителя образуются кристаллы  $Ca(OH)_2$  и  $CaCO_3$ . Контактный слой существенно ослабляется за счет пор, образованных вовлеченным воздухом и дефектов, возникающих в результате седиментационных процессов, что проявляется в анизотропии свойств бетонов.



Прочность контактного слоя в бетоне плотной структуры в 5-7 раз ниже прочность цементного камня. Усилить сцепление можно за счет обеспечения химического и физического срастания поверхностных слоев заполнителя с цементной матрицей бетона. И одним из эффективных способов повышения долговечности бетонов является использование активных заполнителей, которые, взаимодействуя с цементной матрицей, тем самым уменьшают проводимость контактной зоны для агрессивных компонентов внешней среды. Сцепление заполнителя с цементным камнем придает бетону хорошие прочностные и деформативные свойства. Разрушение бетона на топливном шлаке ТЭС проходит частично по растворной части и частично по шлаку, в отличие от бетона на гранитном щебне. Такой характер разрушения свидетельствует об однородности бетона, прочном сцеплении заполнителя с растворной частью. Физико-химическими исследованиями установлено, что прочность сцепления шлака с цементным камнем обусловлена не только адгезией за счет рельефа поверхности зерен, но и в значительной степени химическим взаимодействием цементного камня и заполнителя. Образующая в зоне контакта пленка новообразований (низкоосновные гидросиликаты кальция) является оболочкой, которая обволакивает зерна заполнителя, улучшает сопротивление бетона внешним воздействиям [4].

Таким образом, использование ЗШО в качестве наполнителей в цементы и заполнителей для рядовых бетонов позволит снизить расход цемента и максимально утилизировать топливные отходы ТЭС.

Цель исследований является оптимизация составов и свойств мелкозернистого бетона на заполнителях и композиционных вяжущих из топливных отходов Бишкекской ТЭС.

ЗШО состоят из зольной составляющей (частицы золы и шлака размером менее 0,315 мм) и шлаковой, включающей песок – 0,315 до 5 мм и шлаковый щебень – зерна свыше 5 мм и соответствуют ГОСТ 25592-91 «Смеси золошлаковые тепловых электростанций для бетонов» и относятся к кислым с химическим составом:  $\text{SiO}_2$  -52,09%;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  -20,0%;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  - 2,23;  $\text{CaO}$  -5,74; непрореагировавшие частицы 11%.

В исследованиях были использованы топливные отходы, которые в зависимости от отбора, горения и хранения были разделены: зола гидроудаления, золошлаковая смесь и топливный шлак, которые в свою очередь использовались в качестве наполнителя в цемент М300. Известно, что эффективность использования золы повышается, если дисперсность золы превышает дисперсность цемента на 150-170 м<sup>2</sup>/кг. В связи с чем, наполнители дополнительно измельчались совместно с цементом в течении часа для получения композиционного вяжущего. По фазовому составу золы характеризуются сродством к портландцементному клинкеру и характеризуются содержанием аморфизированного обжигом глинистого вещества, кварца, муллита, моноалюмината кальция, полевого шпата, двукальциевого силиката. Содержание стеклофазы в золе, оказывающей положительное влияние на ее гидравлическую активность, колеблется в пределах 20..30% [3]. Топливный шлак ТЭС представляет собой плотную массу высокой прочности, который предварительно подвергался дроблению в щековой дробилке и классифицировался на крупную и мелкую фракции для использования в качестве заполнителя в мелкозернистые бетоны.

Экспериментальные исследования проводились по двухфакторному плану (табл. 1), в котором входными факторами выбраны:  $X_1$  - количество наполнителя (либо зола гидроудаления, либо золошлаковая смесь, либо топливный шлак  $30 \pm 20$  %) и  $X_2$ - вид вяжущего (ЦЗВи, ЦЗШВи и ШЦВи); остальное наполнитель из топливного шлака.

Таблица 1 - План эксперимента и результаты испытаний МЗБ. (ЦЗВи; ЦЗШВи; ШЦВи):Ш(шлак фр. 0-5, 5-10 мм) = 1:3.



№ опыта	План эксперимента				Результаты эксперимента		
	Кодированные переменные		Натуральные величины		$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$
	$x_1$	$x_2$	$X_1$ -зола ГУ, %	$X_2$ - вид вяжущего	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$R^{тво}_{сж}$ МПа	$R^{28сут}_{сж}$ МПа
1	-1	-1	10	ЦЗВи	1820	20,1	21,6
2	1	-1	50	ЦЗВи	1780	7,4	10,2
3	-1	1	10	ШЦВи	1870	17,71	21,71
4	1	1	50	ШЦВи	1700	9,4	11,2
5	1	0	50	ЦЗШВи	1760	7,82	8,91
6	-1	0	10	ЦЗШВи	1800	13,71	14,42
7	0	1	30	ШЦВи	1720	13,4	15,6
8	0	-1	30	ЦЗВи	1800	9,3	14,4
9	0	0	30	ЦЗШВи	1780	10,18	12,0

Контролируемыми параметрами качества выбраны:  $Y_1$ - плотность МЗБ, кг/м<sup>3</sup>,  $Y_2$  -  $R^{тво}_{сж}$ , МПа и  $Y_3$ - и  $R^{28сут}_{сж}$  прочность после 28 суток  $\geq 20$  МПа. В МЗБ соотношение между композиционным вяжущим и заполнителем из топливного шлака фракций ( 0-5, 5-10 мм) взято в соотношении 1: 3.

Проведение планированного эксперимента и статистическая обработка результатов позволила получить экспериментально-статистические модели второго порядка свойств МЗБ (1, 2, 3) и их графические образы в виде номограмм (рис. 1- 3).

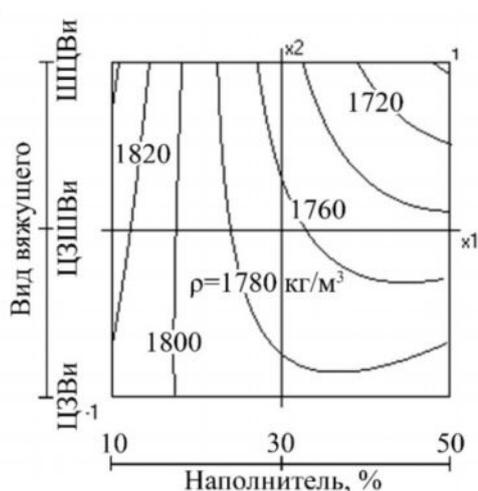
$$Y_1 (\rho) = 1765,56 - 41,67 x_1 + 21,67 x_1^2 - 18,33 x_2 + 1,67 x_2^2 - 32,5 x_1 x_2 \quad (1)$$

$$Y_2 (R^{тво}_{сж}) = 9,42 - 4,45 x_1 + 1,73 x_1^2 + 0,62 x_2 + 2,32 x_2^2 + 1,10 x_1 x_2 \quad (2)$$

$$Y_3 (R^{28сут}_{сж}) = 11,33 - 4,57 x_1 + 0,67 x_1^2 + 0,39 x_2 + 4,01 x_2^2 + 0,22 x_1 x_2 \quad (3)$$

По модели (1) видно, что плотность МЗБ в большей степени зависит от количества наполнителя ( $x_1$ ) отхода ТЭС в вяжущем и снижается по мере его накопления ( $b_1 = -41,67$ ). Второй по значимости фактор ( $x_2$ ), он показывает влияние вида отхода в вяжущем ( $b_2 = -18,33$ ). После ТВО прочность МЗБ ( $R^{тво}_{сж}$ ) (2) зависит от количества наполнителя ( $b_1 = -4,45$ ), которая понижается при верхних показателях, а вид вяжущего существенно не меняет этот показатель ( $b_2 = 0,62$ ). После 28 суток твердения (3) влияние фактора  $x_1$  ( $b_1 = -4,57$ ) сильнее, чем вид вяжущего  $x_2$  ( $b_2 = +0,39$ ).

На номограммах наглядно показано (рис. 1 и 2) влияние двух факторов на основные показатели свойств МЗБ.



ШЦВи):Ш(шлак фр. 0-5мм)= 1:3

Рис. 1. Плотность  $Y_1$  ( $\rho$ ) МЗБ состава составов (ЦЗВи; ЦЗШВи;

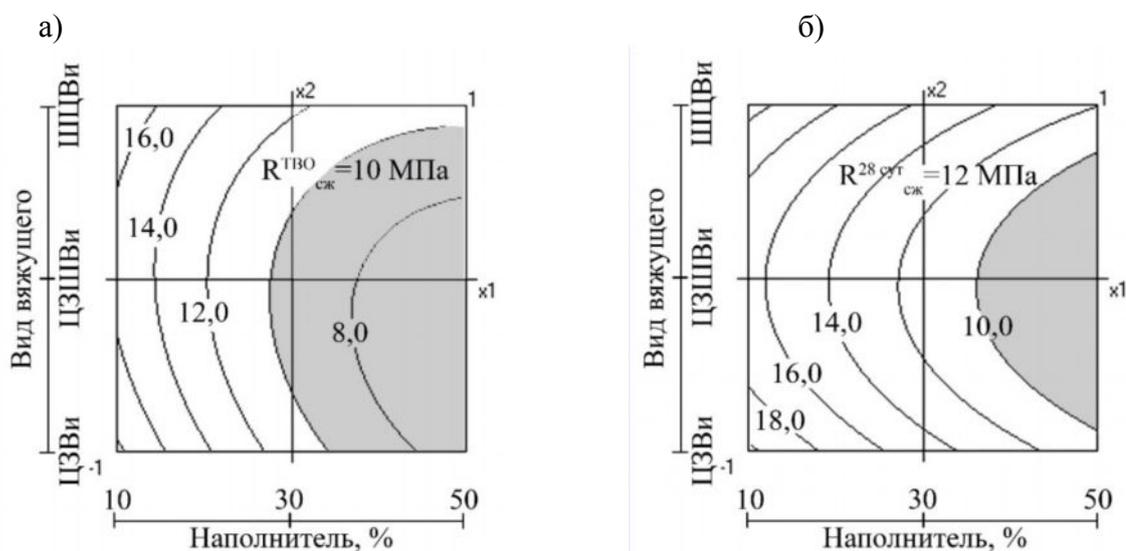


Рис. 2. а) прочность  $R_{сж}^{TBO}$  МЗБ после ТВО и б)  $R_{сж}^{28сут}$  прочность МЗБ после 28 суток нормального твердения состава – (ЦЗВи; ЦЗШВи; ШЦВи) : Ш(шлак фр. 0-5, 5-10 мм) = 1:3.

Здесь при увеличении количества наполнителя из тонкоизмельченного топливного шлака в ШЦВи плотность снижается от 1840 до 1700- кг/м<sup>3</sup> и соответственно прочность  $R_{сж}^{TBO}$  падает от 18 до 10 МПа. Для цементнозолошлакового вяжущего (ЦЗШВи) плотность МЗБ изменяется от 1820 до 1760 кг/м<sup>3</sup>. На композиционном вяжущем с золой гидроудаления (ЦЗВи) плотность бетона меняется в пределах 1780 – 1820 кг/м<sup>3</sup>. На рис. 2 показаны области, где обеспечивается прочность а)  $R_{сж}^{TBO}$  и б)  $R_{сж}^{28сут}$  МЗБ классов В 7,5... В15. Максимальная утилизация для низкомарочных облегченных бетонов В 7,5 (10 МПа) на вяжущих ЦЗВи ; ШЦВи составила на 1 м<sup>3</sup> бетона 0,88-0,9. При содержании в цементе 8-11% топливного отхода прочность МЗБ соответствует классу В15 (20,0 МПа) (табл. 2).

Таблица 2 - Состав МЗБ 1:3 (композиционное вяжущее: наполнитель)

Вид вяжущего	марка бетона	Плотность МЗБ $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Содержание ПЦ, м <sup>3</sup>	Содержание напол-ля, м <sup>3</sup> /(%)	Кол-во запол-ля, м <sup>3</sup>	Доля ЗШО в МЗБ на 1 м <sup>3</sup>
ШЦВи	200 (В15)	1840	0,222	0,027(11)	0,75	0,78
	150 (В10)	1740	0,172	0,077(31)	0,75	0,83
	100 (В 7,5)	1700	0,12	0,130(52)	0,75	0,88
ЦЗШВи	200 (В15)	1840	0,23	0,02(8)	0,75	0,77
	150 (В10)	1810	0,175	0,075(30)	0,75	0,83
	100 (В 7,5)	1750	0,122	0,127(51)	0,75	0,88
ЦЗВи	200 (В15)	1810	0,222	0,027(11)	0,75	0,78
	150 (В10)	1790	0,175	0,075(30)	0,75	0,83
	100 (В 7,5)	1780	0,1	0,15 (60)	0,75	0,90

Таким образом, анализ полученных результатов прочности МЗБ на вяжущих с золой гидроудаления, золошлаковой смесью и шлака показал, что чем ниже марка бетона, тем большее количество цемента можно заменить топливными отходами. Разработанные вяжущие могут быть рекомендованы как для изготовления стеновых изделий, так и в составе растворов различного назначения. Использование таких вяжущих способствует экономии дорогостоящего портландцемента при выполнении различных строительных работ. Изделия, изготовленные на основе композиционных шлакоцементных вяжущих веществ и наполнителей из шлака, отвечают требованиям ГОСТ 6133-99 «Камни



бетонные стеновые».

### Список литературы

1. Основные направления ресурсосбережения при строительстве и эксплуатации зданий. Часть 1. Ресурсосбережение на стадии производства строительных материалов, стеновых изделий и ограждающих конструкций [Текст] / Строительные материалы. – М.: 2012. – С. 12-17.
2. Малинина Л.А. О концепции изготовления малоклинкерных и бесклинкерных вяжущих на основе взаимосочетаемых техногенных отходов [Текст] / Л.А. Малинина, Н.Ф. Башлыков // Строительные материалы, оборудование и технологии XXI века. – М.: 2006. – №10.
3. Джусупова М.А. Получение мелкозернистого бетона с использованием золы гидроудаления [Текст] / М.А. Джусупова, С.Т. Кульшикова / Вестник КГУСТА. -2018. - Вып.№2(61).
4. Толыпина Н.М. К вопросу о взаимодействии цементной матрицы с заполнителями [Текст] / Н.М.Толыпина // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 6-1. – С. 81-85.
5. Джусупова М.А. Оптимизация зерновых составов бетонов с использованием компьютерного моделирования [Текст] / М.А. Джусупова, Талантбек кызы А. / Вестник КГУСТА. – 2018. - № 2(60).
6. Баженов Ю.М. Высокопрочный мелкозернистый бетон [Текст] / Ю.М.Баженов // Строительные материалы. – 2000. - №2. - С.24-25.
7. Джусупова М.А., Кульшикова С.Т. «Композиционные вяжущие на основе отходов» Актуальная наука 2017 №5 Волгоград.