



ДЖУСУПОВА М.А., ТАЛАНТБЕК КЫЗЫ А.

¹КГУСТА имени Н. Исанова Бишкек, Кыргызская Республика

DZHUSUPOVA M.A., TALANTBEK KYZY A.

¹KSUSTA n.a. N. Isanov Bishkek, Kyrgyz Republic
(dzmahavat@gmail.com ayday-talantbekova@mail.ru)

**ВЛИЯНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ЗЕРНОВОГО СОСТАВА ЗАПОЛНИТЕЛЯ
НА ОСНОВНЫЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА**

**INFLUENCE OF THE OPTIMAL GRAIN COMPOSITION OF AGGREGATE ON THE
MAIN PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF FINE-GRAINED
CONCRETE**

Макалада бетондордун жасалма жана табигый чыгарылган майда толтургучунун фракциялык курамын оптималдаштыруу эсебинен цементти чыгымдоону азайтуу мүмкүнчүлүгү жана ЖЭС күл шлак калдыктарын пайдаланууга арналган. Дан курамы модуль коррективкалаоо компьютердик программасын пайдалануу менен кыска мөөнөттө кумдун рационалдык курамын жана дандарынын бетондо тыгыз жайгашуусу камсыздалган. Мындан тышкары, физика-техникалык мүнөздөмөлөрүнө кылынган талаптарына ылайык бетондорду алуу үчүн оптималдуу өлчөмдө гиперпластификаторлор алынган.

Өзөк сөздөр: цементти үнөмдөө, экология, калдыктар, дан курамы, толтургучтар, гиперпластификатор, чапташтыргыч, оптимизациялоо, физика-механикалык касиеттер.

Статья посвящена изучению возможности снижения расхода цемента в бетонах за счет оптимизации фракционного состава мелких заполнителей природного и искусственного происхождения и использования золошлаковых отходов ТЭЦ. Использование компьютерной программы модуля коррективки зернового состава позволяет в кратчайшие сроки определить рациональный состав песка в бетоне и обеспечить плотную упаковку его зерен. Кроме того, подобраны оптимальное количество гиперпластификатора для получения бетона требуемой марки.

Ключевые слова: экономия цемента; экология; отходы; зерновой состав; заполнители; гиперпластификатор; вяжущее; оптимизация; физико-механические свойства.

The article is devoted to the study of the possibility of reducing the consumption of cement in concrete by optimizing the fractional composition of small aggregates of natural and artificial origin and the use of ash and slag waste of thermal power plants. Using the computer program of the grain composition correction module allows you to quickly determine the rational composition of sand and ensure tight packaging of its grains in concrete. In addition, optimal quantities of hyperplasticizers were selected to produce concrete with the required physical and technical characteristics.

Key word: saving of cement; ecology; waste; grain composition; fillers; superplasticizer; binding agent; optimization; physical and mechanical properties.



На сегодняшний день одной из актуальных задач строительной индустрии является рациональное использование природных ресурсов и утилизация отходов промышленности. Замена природных ресурсов в строительной промышленности и снижение потребления цемента является предметом исследований многих ученых.

Широко изучены цементные бетоны с использованием золошлаковых отходов (ЗШО), в виде наполнителей, активной минеральной добавки, в качестве крупного и мелкого заполнителей. Имеются теоретические обобщения и практические основы для широкого применения (ЗШО) ТЭЦ в стройиндустрии. Опыт показывает, что ЗШО при соответствующей подготовке являются эквивалентным и ценным сырьем. Их использование позволяет сэкономить стоимость дорогостоящих материалов без потери свойств материала при одновременном решении экологических задач. Необходимо учитывать минералогический, гранулометрический и химический состав ЗШО, определяющие его поведение в составе вяжущего или заполнителя. Чрезмерное или бесконтрольное использование ЗШО может привести ухудшению прочностных свойств бетона, снижению морозостойкости и других эксплуатационных характеристик.

Химический и минерально-фазовый составы, строение и свойства ЗШО зависят от состава минеральной части топлива, его теплотворной способности, режима сжигания, способа их улавливания и удаления, места отбора из отвалов.

Применение ЗШО в бетоне основано на использовании ряда ее физико-химических свойств, и прежде всего ее пуццоланической активности – способности взаимодействовать с гидроксидом кальция и щелочами в поровой жидкости бетона. Причем пуццолановая реакция ЗШО с цементом начинается довольно рано, но сказывается это на повышении прочности не сразу.

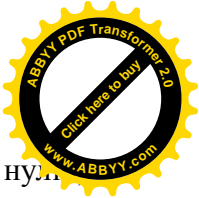
Мелкозернистый бетон (МЗБ), используемый в исследованиях один из видов тяжелых бетонов, предполагает использование мелкого заполнителя с фракцией не более 10 мм. Данный тип бетонов часто применяют в строительстве тонкостенных конструкций, густоармированных и сложных конструкциях, при ремонте изделий и т.д. Благодаря мелкому заполнителю удается добиться однородной структуры, с большей пористостью, более высокой прочностью. Высокая удельная поверхность заполнителя в мелкозернистом бетоне обуславливает повышенный (на 20...40%) расход цемента, необходимый для заполнения межзерновых пор и создания достаточного слоя обмазки цементного теста. Снижение расхода цемента достигается выбором оптимального гранулометрического состава заполнителя, введением активных минеральных добавок наполнителей, применением суперпластификаторов и эффективных способов уплотнения [5].

В современном строительстве хорошо зарекомендовали себя гиперпластификаторы на поликарбоксилатной основе, которые способствуют получению бетонной смеси высокого качества, с ускоренным набором сил ранней и конечной прочности. Он позволяет отсрочить абсорбцию воды в частицы цемента и равномерно распределить их по всему объему смеси и получить МЗБ с низким водоцементным соотношением.

Особое внимание при проектировании состава бетона должно уделяться не только качеству сырья, но формированию оптимального зернового состава заполнителей.

Оптимальный с точки зрения формирования свойств бетонной смеси и бетона, гранулометрический состав достигается, если обеспечивается наиболее плотная упаковка зерен [1, 2]. Здесь пористость зернисто-дисперсной системы (бетонной смеси) сводится к минимуму, что дает возможность снизить расход цемента в бетоне [3, 4].

Дать количественную оценку и оптимизировать упаковку частиц заполнителя бетона в кратчайшие сроки позволяет использование компьютерного метода моделирования с использованием алгоритма перекатывающихся частиц, который относится к типу «drop and roll» [6]. В процессе проектирования рассчитывается гранулометрический состав смеси, имеющий максимальное приближение к эталонной кривой, но поскольку результирующий состав определяется гранулометрией исходных



компонентов, расхождение расчетной кривой и эталонной не всегда сводится к нулю, поэтому в работе использовалась программа модуля корректировки зернового состава, позволяющая корректировать компоненты – «узких» фракций материала. Одним из условий получения бетонов высокой прочности является минимальная пустотность и однородность его структуры, достигаемая исключением грубой зернистости и подбором соответствующих фракций [6].

Основной проблемой для производства бетонов нового поколения является устаревшее оборудование бетоносмесительных узлов, где предусмотрено дозирование трех сухих компонентов бетонной смеси. Технологии приготовления бетонных смесей в Кыргызстане в основном устаревшие. Используются пески и щебни различной влажности, практически не используются тонкоизмельченные наполнители и вторичные отходы.

Целью исследований является разработка рецептуры для получения оптимального состава мелкозернистого бетона оптимального зернового состава на золошлаковом вяжущем.

В работе использовались:

- Портландцемент М400 Д20 (ГОСТ 10178-85, 30515-97);
- пески, используемые заводами стройиндустрии. Песок из отходов дробления Чуйский (МК-2,55) и Аламединского карьера естественного происхождения (МК-3,26). Следует отметить, что на заводах оптимизация сводится к смешиванию 50/50 двух вышеуказанных песков. Результаты испытаний песков представлены в табл. 1
- добавки (поликарбоксилатэфирный суперпластификатор MasterGlenium 116 и 917, ГОСТ 24211-08)
- золошлаковая смесь Бишкекской ТЭС
- цементно-золошлаковое вяжущее (ЦЗШВ), полученное совместным помолом цемента (70%) и золошлаковой смеси (ЗШС-30%) в шаровой мельнице до остатка на сите 008 - 15%.

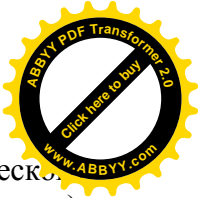
Таблица 1 – Гранулометрический состав песков месторождений Аламедин и Чу

Компонент	Параметр	Диаметры отверстий сит, мм						
		поддон	0,16	0,315	0,63	1,25	2,5	5
Песок №1 Аламедин (МК=3,26)	Остаток на сите, г	70	100	155	205	110	360	0
	Частный остат., %	7	10	15,5	20,5	11	36	0
	Полный остат., %	100	93	83	67,5	47	36	0
	Полный прох., %	0	7	17	32,5	53	64	100
Песок №2 Чу (МК=2,55)	Остаток на сите, г	10	100	500	210	80	100	0
	Частный остат., %	1,0	10,0	50	21	8	10	0
	Полный остат., %	100	99	89	39	18	10	0
	Полный прох., %	0	1	11	61	82	90	100

В качестве контрольного состава был выбран заводской бетон М200 В15 (ЗАО ЖБИ «Кум-Шагыл»). Расчет оптимального зернового состава заключался в подборе массовой доли исходных песков таким образом, чтобы расчетная кривая зернового состава проектируемой смеси сблизилась (или полностью совпала) с кривой эталонного зернового состава.

Гранулометрический состав мелкого заполнителя подбирался путем смешивания оптимизированных фракций при одном и соответствующем расходе цемента или комплексного вяжущего с использованием добавок. Для каждой пробы определялась подвижность (осадка конуса) по ГОСТ 10181-2014 и плотность бетонной смеси по ГОСТ 10181-2014.

На рисунках 1 и 2 представлены оптимизированные составы песков месторождений Аламедин и Чу, где показаны кривые исходного, эталонного и скорректированного зерновых составов.



На рисунках 1 и 2 можно увидеть различие между кривой гранулометрического состава исходного песка (красная линия) и кривой эталонного состава (синяя линия). Программа позволяет установить зерновой состав песка приближенного к идеальной кривой (зеленая линия). Здесь показано, конкретное количество песка каждой фракции (частные и полные остатки) для обеспечения плотной упаковки МЗБ.

Пески Чу и Аламедин рассеивались по фракциям и в необходимом оптимальном количестве использовались для приготовления образцов МЗБ. В качестве вяжущего использовали чистый цемент (1 и 7 составы) и ЦЗШВ (2,3,4,5,6,8) с различным содержанием пластификаторов (0-1,2% от массы цемента).

Количество воды в составах подбиралось по минимальной требуемой осадке конуса 5 см. Для каждой пробы определялась подвижность (осадка конуса) по ГОСТ 10181-2014 и плотность бетонной смеси по ГОСТ 10181-2014. Из МЗБ изготавливались образцы-кубы с ребром 100x100 мм. Условия хранения и твердения образцов – в камере нормального твердения при температуре $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ и влажности не менее 95 %. Образцы бетона в 7 суточном возрасте испытывались по ГОСТ 10180-2012.

Количество воды в составах подбиралось по минимальной требуемой осадке конуса 5 см. Для каждой пробы определялась подвижность (осадка конуса) по ГОСТ 10181-2014 и плотность бетонной смеси по ГОСТ 10181-2014. Из МЗБ изготавливались образцы-кубы с ребром 100x100 мм. Условия хранения и твердения образцов – в камере нормального твердения при температуре $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ и влажности не менее 95 %. Образцы бетона в 7 суточном возрасте испытывались по ГОСТ 10180-2012.

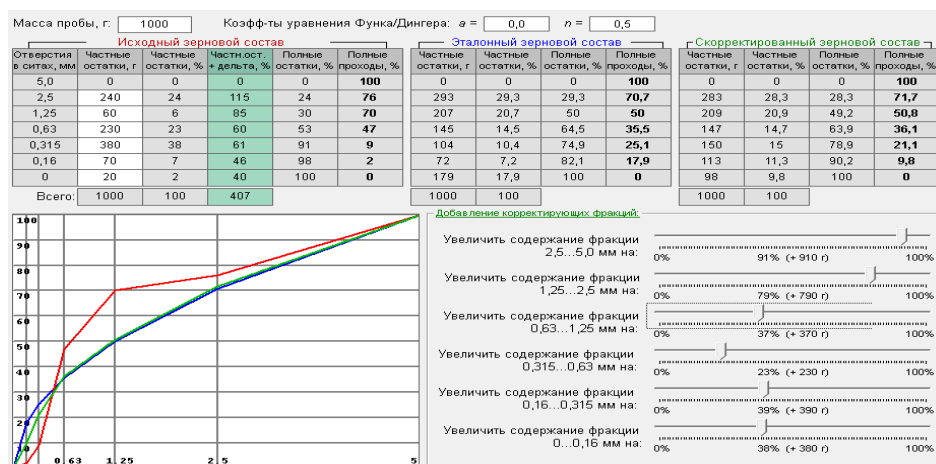


Рис. 1. Окно расчетной корректировки зернового состава песка месторождения Чу

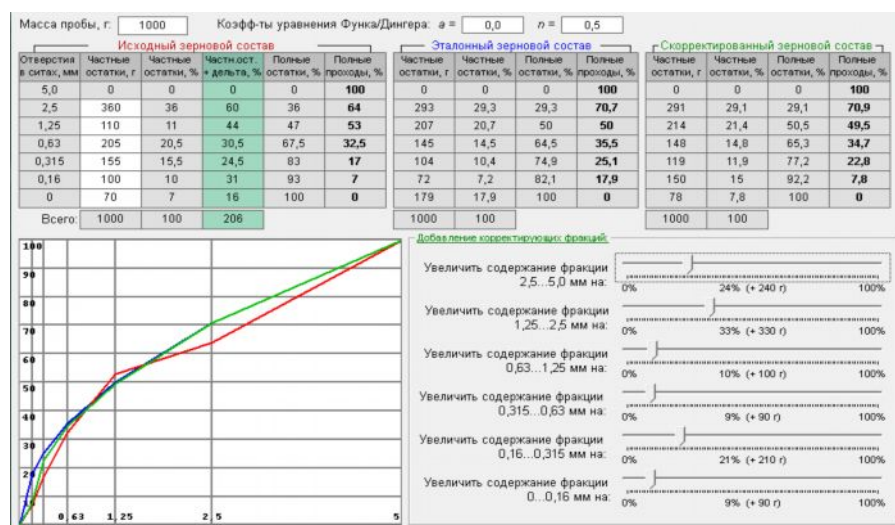


Рис. 2. Окно расчетной корректировки зернового состава песка месторождения Аламедин



Результаты испытаний МЗБ на заполнителе подобранного оптимального состава добавок (Mast. Glenium 917. 116) и композиционном вяжущем, содержащем ЗШС представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Физико-механические свойства мелкозернистого бетона на песке месторождения Аламедин

№ п/п	Расход материалов на 1 м ³ бетона			Добавка, % от массы Ц		Осадка конуса, см	В/Ц	Прочность на сжатие, МПа		Плотность (ρ), кг/см ³	Водопоглощение (W), %
	КВВ/Ц	Вода, л	Песок, кг	Master Glenium 917	Master Glenium 116			После ТВО	28 суток		
1	520/0	280	1620	0	0	8,6	0,53	28,4	36,5	2240	2,23
2	440/308	270	1620	0	0	6,6	0,61	4,5	10,7	2080	1,92
3	360/252	250	1620	1,2	0	22	0,69	16,4	21	2125	1,79
4	440/308	210	1620	0	1	12,5	0,47	23,0	29,6	2245	1,55
5	440/308	260	1620	0,8	0	6,1	0,59	21,4	31,5	2255	1,99
6	440/308	245	1620	1	0	5,6	0,55	20,6	28,3	2175	2,07
7	440/0	265	1620	0	0	6,2	0,6	21,4	37,5	2280	1,53
8	440/308	215	1620	0	0,8	5,8	0,48	27,4	37,8	2270	1,38

* ЦЗШВ_и/Ц в числителе количество композиционного вяжущего вещества, в знаменателе содержание в нем цемента.

По результатам испытаний (рис.3) можно отметить, что наибольшее значение прочности МЗБ после ТВО наблюдается у составов №1 – 28,4 МПа с повышенным содержанием цемента. При оптимальном фракционном составе песка Аламедин достигается равнозначная прочность МЗБ (состав № 8) $R_{сж}^{ТВО} = 27,4$ МПа, где установлено оптимальное количество добавки Master Glenium 116 (0,8%). Повышение количества добавки 1,0% приводит к снижению прочности МЗБ до 23,0 МПа. Следует отметить, что использовали скорректированный зерновой состав мелкого заполнителя. Составы №4,5,6,7 тоже имеют равнозначную прочность после ТВО от 20,6- 22,4 МПа. Также следует сказать, что №5,6 состав отличался количеством содержания добавки Mast. Glenium 917 0,8-1 %. Низкую прочность имели составы № 2,3 прочность после ТВО, которых составило 4,5-6,4 МПа. Из этого следует, что при повышении добавки Master Glenium 917 до 1,2% приводит к снижению прочности МЗБ до 6,4 МПа.

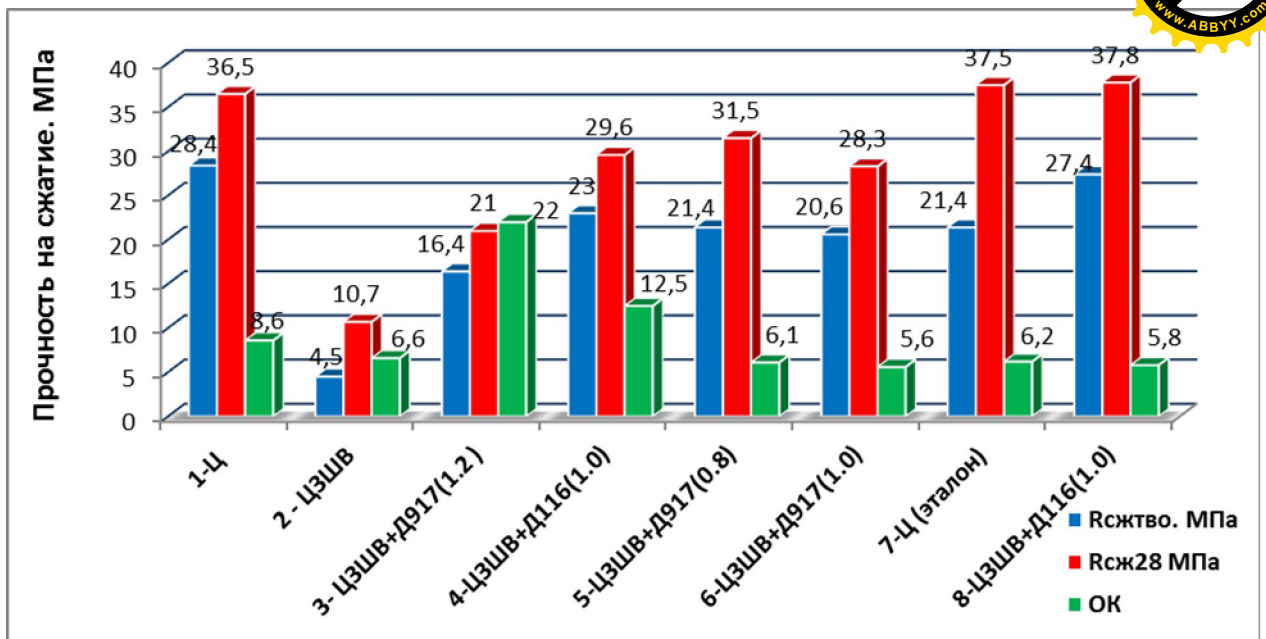
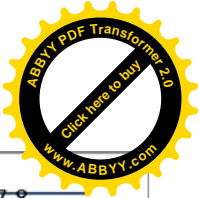


Рис. 3. Прочность и ОК мелкозернистого бетона на ЦЗШВи (30% ЗШС) и песке месторождения Аламедин составов 1-8

На рис.4. показано, что оптимальные соотношения песка в зерновых составах смеси заполнителей соответствуют экспериментально определенным экстремумам насыпной плотности, т.е. наибольшей плотности упаковки их зерен. Несмотря на наличие в вяжущем ЗШС 30% высокая плотность МЗБ 2270 кг/м³ обеспечивается в составе № 8 благодаря плотной упаковке зерен песка, наличию добавки Mast. Glenium 116 и виброуплотнению. Эталонный состав после виброуплотнения имеет равнозначную плотность 2280 кг/м³, но прочность составляет 21,4 МПа. Что видимо, обусловлено повышенной пористостью в связи с повышенным количеством воды из-за отсутствия пластификатора в бетонной смеси.

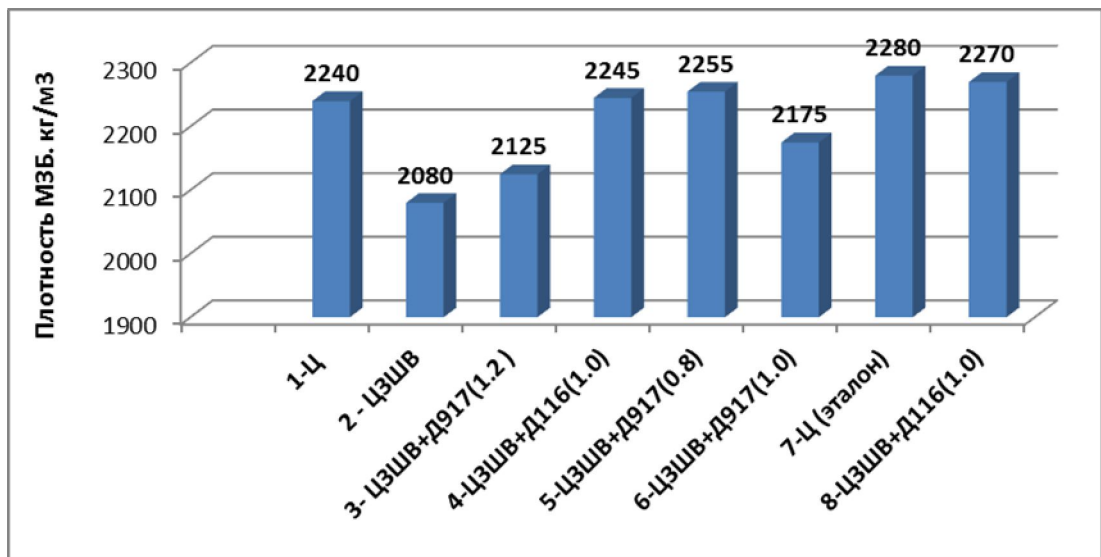


Рис. 4. Плотность МЗБ составов на цементе и ЦЗШВ составов № 1-8.

Бетонная смесь состава № 2 на вяжущем ЦЗШВ без пластификатора уплотнялась обычным штыкованием и соответственно имела наименьшую плотность 2080 кг/м³. Аналогичный состав МЗБ (№ 4 и5) на песке оптимального зернового состава и наличии другого пластификатора Mast. Glenium 917 при виброуплотнении показал повышение плотности 2245 и 2255 кг/м³ и прочности 23 и 21,4.



Составы № 3, 5, 6 отличаются только количеством добавки пластификатора Master Glenium 917. В данном случае для состава №5 прочность МЗБ на 28 суток достигает $R_{сж}^{28} = 31,5$ МПа и плотность 2255 кг/м^3 , а оптимальное содержание добавки составляет 0,8%.

Более высокие физико-механические характеристики МЗБ $R_{сж}^{28} = 37,5$ МПа, плотностью 2270 кг/м^3 и минимальным водопоглощением $W = 1,38\%$ получены на добавке Master Glenium 116 при содержании 0,8%.

Выводы.

- Оптимизация гранулометрического состава песка месторождения Аламедин позволяет достичь наиболее плотную упаковку его зёрен в МЗБ, что даёт возможность использовать смешанное золошлаковое вяжущее и сократить расход цемента на 30%;

- использование суперпластификатора в МЗБ на ЗШВ Master Glenium позволяет снизить водоцементное отношение и обеспечить прочностные характеристики равнозначные с бетоном на чистом цементе.

- при сравнении прочности МЗБ на чистом цементе $R_{сж}^{28} = 37,5$ МПа и бетона на смешанном ЗШВ с оптимальным содержанием добавки 0,8% Master Glenium 116 получены равнозначные показатели $R_{сж}^{28} = 37,8$ МПа.

Список литературы

1. Баженов Ю.М. Технология бетона [Текст]: Учебник / Ю.М. Баженов. - М.: Изд-во АСВ. 2011. - 528 с.

2. Джусупова М.А. Оптимизация зерновых составов бетонов с использованием компьютерного моделирования [Текст] / М.А. Джусупова, Талантбек кызы А. // Вестник КГУСТА им. Н. Исанова. – 2018. - Вып.2(60).

3. Нелинейные модели помогают сократить расход цемента путем улучшения уплотнения заполнителей [Текст] // CPI – Международное бетонное производство. - 2008. - №4. - С.28-35.

4. Vulsari, A. Нелинейные модели удобоукладываемости и прочности на сжатие помогают снизить затраты / A. Vulsari, H. Kylmametsa, K. Juvas // CPI – Международное бетонное производство. 2009. №6. С.26-32.

5. Дворкин Л.И. Расчетное прогнозирование свойств и проектирование составов бетонов [Текст] / Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин. – М.: Инфра-Инженерия, 2016. - С.300.

6. Белов В.В. Компьютерное оптимизирование зерновых составов строительных композитов на основе цементно-минеральных смесей [Текст] / В.В. Белов, И.В. Образцов // Известия КГАСУ. – 2014. - №3(29). - С.174-175.