

Кинетика Деформативных Показателей Бетона С Отходами Промышленности При Тепловлажностной Обработке С Использованием Солнечной Энергии

С. А. Адашева¹, А. А. Тухтабаев², А. Х. Алиназаров³

Аннотация: В статье рассмотрены деформативные показатели бетонов при тепловлажностной обработке бетонов с использованном солнечной энергии. Показана зависимость активности вяжущего от оптимального количества сульфокarbonата натрия, а также влияния режимов тепловлажностной обработки на прочность бетонов с использованием солнечной радиации. Установлено, что необходимый класс прочности бетонов можно получить регулируя количества и дисперсность шлака и сульфокarbonата при использовавнии различных технологических приёмов.

Ключевые слова: Солнечная энергия, бетон, шлак, сульфокarbonат натрия, тепловлажностная обработка, вяжущее, регулирование, дисперсность, прочность, экология, отходы производства, структурообразование.

Постановка проблемы: Рациональное использование природных ресурсов рассматривается большинством стран как один из основных факторов устойчивого развития. В настоящее время, когда охране окружающей среды уделяется большое внимание, использованию экологически приемлемых технологий и утилизация отходов промышленности является одним из главных проблем. Ежегодно предприятия загрязняют окружающую среду сотнями тысяч тонн отходов, при этом во многих научных центрах разрабатываются множество проектов по обеззараживанию таких отходов, применению энерго и ресурсосберегающих безотходных технологий [1,2]. Основной проблемой является многокомпонентность и изменчивость химического состава отходов, а также сложность физико-химических процессов, происходящих при их переработке, оптимизацию состава бетонов и формирование прочной структуры. Использование в производстве строительных материалов полиструкторного строения техногенных отходов является одной из важнейших задач, направленных на достижение экологической, экономической и энергетической эффективности за счёт предотвращения достижения загрязнения окружающей среды и экономии ресурсов природного сырья [3,4,5,6].

Экспериментальная часть: В качестве активизатора шлакощелочных вяжущих изучали отход Чирчикского завода «Электрохимпром». В процессе исследования определяли оптимальное количество активизатора.

Результаты испытаний свойств вяжущего с различным количеством сульфокarbonата натрия приведены в таблице 1.

¹ Соискатель, Наманганский инженерно-строительный институт

² Доцент, Наманганский инженерно-строительный институт

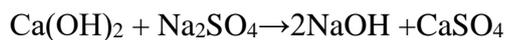
³ Профессор, Наманганский инженерно-строительный институт



Зависимость активности вяжущего от количества сульфокarbonата натрия таблица 1

Количество сульфокarbonата натрия, % мас., от массы молотого шлака	Предел прочности при сжатии, МПа	Сроки схватывания, ч:	
		начало	конец
2	5,0	–	–
5	8,0	1,5	3,8
8	11,0	1,5	4,0
11	14,0	4,0	5,3

Как и следовало ожидать, сульфокarbonат натрия, имея в составе около 50% соли щелочного металла, не дающий в растворе щелочной реакции, является малоактивным активизатором. Активность шлакощелочного цемента не превышает 14 МПа (таблица 1). Полученный на его основе бетон имеет низкие прочностные показатели. Повышение количества сульфокarbonата и количества молотого шлака, в соответствии с рисунком 1, не существенно изменяет его прочность. Следует отметить, что на третьи сутки после тепловлажностной обработки на поверхность образцов мигрирует активизатор, не включенный в процесс гидратации, образуя высолы. Бетон после 50 циклов попеременного замораживания-оттаивания разрушился. Для повышения активности вяжущего и соответственно физико-механических показателей бетона была испытана корректирующая добавка-цемент. Использование указанной корректирующей добавки, основано на том, что при затворении водой C_3S и C_2S цемента и клинкера гидратируются с выделением гидрата окиси кальция, который взаимодействует с сульфатом натрия по реакции:



образует щелочь, которая является дополнительным источником активизатора. Следует предположить также, что едкая щелочь в момент образования проявляет повышенную активность.

Действительно, добавка цемента позволила получить высокие показатели $R_{сж}$ для шлакощелочного вяжущего в тесте при одновременном уменьшении количества активизатора. При этом отмечено, что с увеличением количества сульфокarbonата, в соответствии с рисунком 2, при содержании цемента 2,4 и 6% значения $R_{сж}$ повышаются.

Как видно из данных, приведенных в таблице 2, активность вяжущих, приготовленных из раствора состав шлак: песок = 1:3, имеет высокие значения и достигает величины 54,2 МПа. Оптимальное количество активизатора и корректирующей добавки в этом случае соответствует 4-6% к массе шлака. Изменение соотношения молотого шлака к песку до 2:3 позволяет повысить активность вяжущего при одновременном уменьшении количества активизатора в нем до 2% к массе шлака.

Аналогичные результаты имеют вяжущие полученные в условиях ускоренного твердения (таблица 3).

Режим ускоренного твердения 3 + 6 + 3, температура изотермического прогрева – 90-95 °С. Режим гелиотермообработки составляет 2 + 4 + 6 + 3 часа, температура прогрева – 70-75 °С.

По количественному химическому составу отход сульфокarbonата натрия не стабилен. Нестабильность состава отхода является следствием нестабильности активности шлакощелочного вяжущего на его основе.

Использование корректирующей добавки дало возможность существенно повысить активность вяжущего и добиться стабильности этого показателя.



Активность вяжущих таблица 2

Кол-во сульфокARBоната, мас.% от шлака	Кол-во цемента, мас. % от шлака	$R_{изг.}^T$	$R_{сж.}^T$	$R_{изг.}^T$	$R_{сж.}^T$	Сроки схватывания, ч	
						начало	конец
2	—	—	5,0	—	5,2	—	—
5	—	—	8,0	—	8,5	1,5	3,8
8	—	—	11,0	—	12,0	1,5	4,0
8	4	5,2	40,0	5,7	41,1	0,9	3,1
5	6	5,6	42,0	6,1	41,9	1,2	4,3
2	8	6,7	44,0	6,5	43,5	—	—

Раствор состава 1:3 Р/Ш = 0,3.

Если активность вяжущего, приготовленного на сульфокARBонате натрия, не превышает 14 МПа, то в композиции с добавкой этот показатель увеличивается в три и более раз при одновременном уменьшении количества щелочного компонента в вяжущем. Сроки схватывания при этом удовлетворяют нормативным требованиям.

Как и следовало ожидать, введение корректирующих добавок существенно повышает прочность шлакощелочного бетона. В таблице 4 приведены прочностные значения шлакощелочных бетонов с добавкой цемента.

Режим тепловлажностной обработки 3+6+3 час, температура изотермического прогрева – 90...95⁰С. Режим гелиотермообработки 2+4+6+3, температура прогрева –70...75⁰С.

Добавка портландцемента в количестве 6% к массе молотого шлака благоприятно сказывается на прочности бетона. Так, при содержании в бетонной смеси 6% сульфокARBоната и 6% цемента прочность при сжатии в 28-суточном возрасте после гелиотермообработки увеличивается более чем в два раза по сравнению с бетоном, полученным на сульфокARBонате без добавок цемента. Следует отметить медленный набор прочности у таких бетонов при естественном твердении.

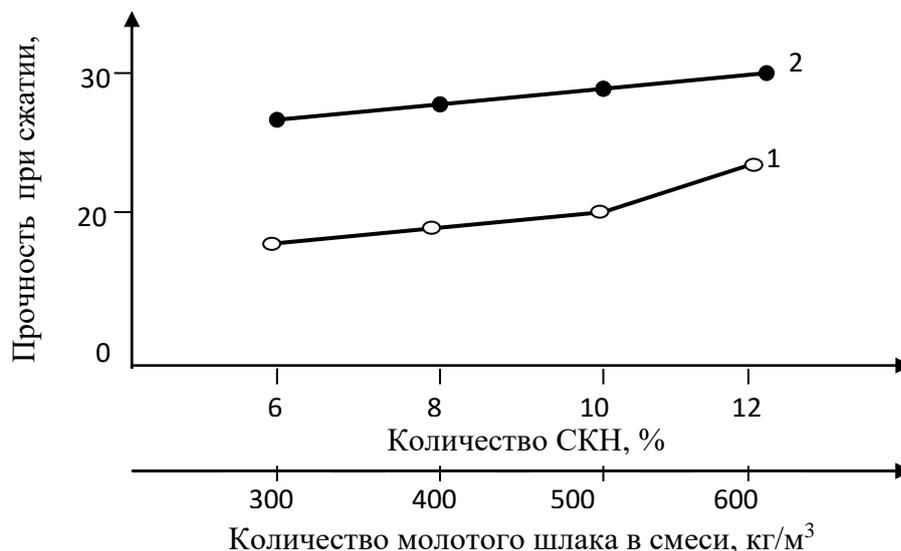


Рисунок 1 – Зависимость прочности шлакощелочного бетона от количества сульфокARBоната натрия (1) и молотого шлака (2) в смеси



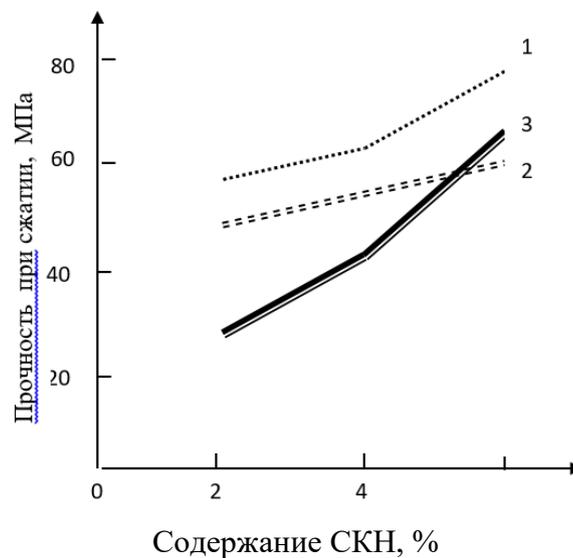


Рисунок 2 – Зависимость $R_{сж}$ вяжущего в тесте от количества сульфокarbonата натрия, добавок портландцемента от массы шлака (1 – 2%; 2 – 4%; 3 – 6%).

Влияние количества молотого шлака как фактора прочности при расходе его выше 400 кг на 1 м³ бетонной смеси незначительно. Для практических целей экономически целесообразен расход шлака в количестве 300-400 кг на 1 м³ смеси. При содержании молотого шлака в бетонной смеси менее 250 кг на 1 м³ не наблюдается корреляционной зависимости между прочностными показателями бетона, полученного при гелиотермовлажностной обработке и в условиях естественного твердения.

Активность шлакощелочного вяжущего Таблица 3

Состав вяжущего, мас. %				Р/ Ш	Предел прочности, МПа в возрасте, сут.							
Шлак	Песок	Сульфокорбонат натрия	Цемент		$R_{изг.}$				$R_{сж.}$			
					3	7	14	28	3	7	14	28
25	75	4	2	0,4	-	3,6	4,9	6,9	-	9,1	21,2	44,7
25	75	4	6	0,4	0,8	0,7	1,6	5,6	1,4	1,9	7,8	48,7
25	75	6	2	0,4	0,8	2,3	1,0	5,8	1,0	5,5	11,3	54,2
25	75	6	6	0,4	0,8	3,8	3,8	4,1	1,5	16,4	24,2	40,9
40	60	4	2	0,30	0,9	1,1	1,6	1,7	3,4	2,7	3,8	15,0
40	60	4	4	0,30	2,0	2,6	7,5	6,5	2,0	12,7	45,3	43,4
40	60	4	6	0,30	1,4	2,2	2,2	3,3	3,0	8,0	7,3	25,9
40	60	6	6	0,30	2,0	2,0	2,2	3,4	7,1	9,2	6,6	10,2
40	60	2	2	0,30	0,8	2,5	6,4	8,2	1,5	8,4	45,7	61,4
40	60	2	4	0,30	1,1	2,8	4,2	8,6	2,0	12,2	43,5	54,8
40	60	2	6	0,30	1,9	3,5	4,9	7,8	5,5	16,1	45,8	61,8

Прочность шлакощелочного бетона с добавкой цемента Таблица 4.



Состав бетонной смеси на 1 м ³ , кг:						Предел прочности при сжатии, МПа					
Шлак	Песок	Щебень	Вода	Сульфо-карбонат, натрия, мас.% от шлака	Цемент М 400 мас. % от шлака	Гелиотермообработка		Тепловлажностная обработка		Естест. твердение, сутки	
						после гелиотермо-обработки	в возрасте 28 суток	после термовлаж. обработки	в возрасте 28 суток	7	28
242	825	1010	142	6	6	25,9	34,2	26,3	33,5	1,1	6,7
282	746	1044	156	6	6	28,3	40,7	29,8	41,4	12,4	36,7
375	638	105	161	6	6	38,0	45,5	37,4	44,1	13,9	43,5
500	500	1070	172	6	6	39,6	47,0	41,4	46,2	13,6	47,8
375	638	1056	161	6	4	38,3	41,2	39,3	42,5	-	-

Жесткость бетонной смеси – 10-15 с.

Таким образом, введенная добавка в композиции с сульфокарбонатом дает возможность повысить прочность бетона и гарантировать стабильность его свойств. Кроме того, использование в качестве активизатора сульфокарбоната натрия с указанной добавкой позволяет предъявить менее жесткие требования к присутствию цемента при транспортировании, помолу, хранении и выработке молотого гранулированного фосфорного шлака.

В связи с большими запасами фосфорного шлака необходимо было изучить его пригодность в производстве шлакощелочных бетонов. Для этой цели взяты из отвала две пробы на глубине 16 и 21 м. На глубине до 4,5 м шлак уплотнен в монолитную массу, а ниже 4,5 м представляет собой песок фракции 0-5 мм, влажность которого соответствует 5-8 % по массе. Уплотненная масса была раздроблена и перемешана с рыхлой частью. Среднюю пробу шлака подвергали помолу до тонкости, соответствующей проходу через сито 008 мм до 90% по массе. На молотом фосфорном шлаке приготовлены бетоны активизатором сульфокарбонатом и корректирующей добавкой. Результаты испытаний бетонов приведены в таблице 5.

Температура изотермического прогрева – 95⁰С. Режим ТВО – 3+6+3 ч. Режим гелиотермообработки 2+4+6+3 часа, температура прогрева – 68... 70 °С.

Анализ данных таблиц 4 и 5 показывает, что бетоны, приготовленные на шлаке, имеют высокие абсолютные значения прочности, но обнаруживался незначительная тенденция к уменьшению предела прочности при сжатии по сравнению с бетонами, приготовленными на свежем шлаке. Отвальные шлаки Алмалыкского производственного объединения являются перспективным сырьем для производства шлакощелочных бетонов.

Прочность при сжатии шлакощелочного бетона, приготовленного на фосфорном шлаке
Таблица 5

Кол-во шлака, кг/на 1 м ³	Кол-во сульфокарбоната, % к массе шлака	Кол-во цемента, % к массе шлака	Предел прочности при сжатии, МПа		
			После гелиотермообработки	После тепловлажностной обработки	В возрасте 28 суток
242	6	6	27,3	27,6	30,5
375	6	6	30,1	29,9	33,5
500	6	6	38,8	38,9	42,9
500	6	-	51,1	48,9	53,9
500	6	-	43,9	44,3	49,3
500	4	-	40,1	39,9	44,3
500	4	-	37,0	36,4	51,0



Одним из наиболее важных свойств шлакощелочных вяжущих является возможность получения на его основе бетона, содержащего в составе заполнителя повышенное количество пылеватых и глинистых частиц, что исключает необходимость обогащения заполнителя и позволяет в широких масштабах использовать местные минеральные материалы. Указанная особенность относится также и к шлакощелочным бетонам, в которых в качестве активизатора использовали сульфокarbonат натрия с корректирующей добавкой.

Наличие пылеватоглинистых частиц от 5 до 20% по массе практически не повлияло на прочностные показатели бетона (таблица 6).

Зависимость прочности бетона от содержания пылевидных и глинистых частиц
Таблица 6.

Кол-во Сульфокarbonата, % к массе шлака	Кол-во цемента, % к массе шлака	Кол-во пылеватоглинистых частиц, % к массе песка	Предел прочности при сжатии, МПа:			
			После гелиотермообработки	после тепловлажностной обработки	в возрасте 28 сут. после гелиотермообработки	в возрасте 28 сут. после тепловлажностной обработки
6	6	–	21,2	20,1	25,8	25,1
6	6	5	22,0	22,3	26,3	26,1
6	6	10	19,5	19,2	30,9	31,6
6	6	15	18,7	19,1	26,4	25,4
6	6	20	18,5	18,4	28,3	28,4

При твердении шлакощелочных бетонов на темп нарастания прочности и ее абсолютные значения важное влияние оказывает температура изотермического прогрева и изотермическая выдержка. В данном случае оптимальным следует считать температуру – 70 °С, а период изотермической выдержки – 6 часов (таблица 7).

Влияние режимов гелиотермической обработки на прочность бетонов Таблица 7.

Кол-во сульфокarbonата к массе шлака	Кол-во цемента % к массе шлака	Температура изотермического прогрева, °С	Режим гелиотермической обработки, час	Предел прочности при сжатии, МПа	
				После гелиотермической обработки	В возрасте 28 сут. после гелиотермической обработки
6	6	70	2+4+6+3	37,4	44,1
6	6	70	2+4+5+3	20,1	25,1
6	4	70	2+4+6+3	39,3	42,5
6	4	75	2+4+5+3	17,3	27,9
4	4	65	2+4+5+3	7,7	17,3
4	4	75	2+4+7+3	30,7	26,5

Состав бетонной смеси, кг на 1 м³: шлак – 375, песок – 638, щебень – 1056, вода – 161. Режим гелиотермической обработки 2+3+4+2, температура изотермического прогрева – 70-75 °С.

Состав бетонной смеси: кг/ м³: шлак – 416, песок – 550, щебень – 1234, вода – 166, жесткость смеси – 10 с.

Обсуждение: Оценивая полученные данные, можно сделать вывод о том, что сульфокarbonат натрия – отход Чирчикского завода «Электрохимпром»- можно использовать в качестве активизатора с корректирующей добавкой цемента для приготовления шлакощелочных



бетонов. Оптимальное количество добавок и активатора соответствует 5 % к массе молотого шлака и позволяет гарантировать стабильную прочность бетона 30 - 40 МПа.

На рисунках 3 и 4 отражены результаты изучения прочности при сжатии образцов в возрасте 7, 28, 60 суток, с различным количеством молотого шлака в композиции с сульфокarbonатом. Как видно из данных рисунка 3, в раннем возрасте практически не обнаруживается влияние количества шлака и активизатора на прочность образцов. В 28-суточном возрасте образцы, содержащие 20% молотого шлака, имеют высокие показатели прочности, а с уменьшением количества молотого шлака прочностные показатели уменьшаются.

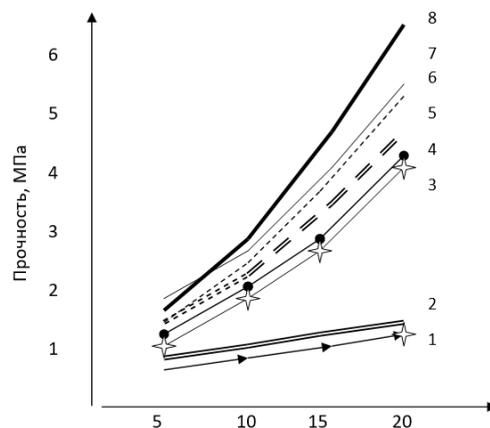


Рисунок 3. Содержание молотого шлака, %

1,2-7 сут., 3,5-28 сут., 6,8-60 сут, 3,6-6 % СКН, 1,4,7-10% СКН, 2,5,8-12% СКН

Рисунок 3 – Зависимость предела прочности грунтов, укрепленных шлакощелочным вяжущим, от количества молотого шлака при различном количестве сульфокarbonата натрия (СКН) в разном возрасте 1,3-5% масс, молотого шлака, 47,6-10%, 7,9-15%, 10-12-20%, 1,4,7,10-6% сульфокarbonата натрия (СКН), 2,5,8,11-10% СКН, 3,6,9,12,-12% СКН

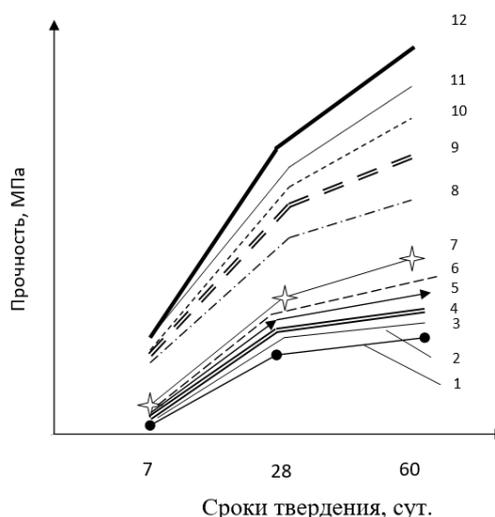


Рисунок 4 – Кинетика набора прочности шлакощелочного бетона

Менее заметное влияние на физико-механические свойства шлакощелочных вяжущих, оказывает количество активизатора. Следует отметить, что с увеличением количества молотого шлака скорость набора прочности образцов увеличивается. Так, если при содержании 10% молотого шлака и 12% сульфокarbonата прочность образцов при сжатии соответствовала 2,2 МПа, а при содержании 15% шлака и том же количестве сульфокarbonата она возросла до 3,5 МПа, при 20% - до 4,5 МПа. Замечен интенсивный рост прочности после 28 суток естественного твердения. При этом в 60-и суточном возрасте прочности увеличились в 1,2 – 1,5 раза.



При укреплении грунтов шлакощелочными вяжущими важное значение приобретает способ введения активизатора в смесь. Наиболее полно реализуется их положительные качества при введении активизатора в раствор, по сравнению с сухой технологией. В этом случае наблюдается более интенсивный рост прочности образцов (таблицы 8 и 9).

Прочность при сжатии шлакощелочных бетонов Таблица 8.

Кол-во шлака, мас.% грунта	Кол-во сульфокarbonата мас.% от шлака	Способ введения сульфокarbonата	Предел прочности образцов при сжатии, МПа, в возрасте, сут.:		
			7	28	60
20	6	сухой	2,3	4,6	5,4
15	6	сухой	1,2	2,6	3,1
20	6	в растворе	2,5	5,7	6,5
15	6	в растворе	1,4	3,4	4,0

Зависимость предела прочности при сжатии образцов шлакощелочного бетона с добавкой цементной пыли Таблица 9.

Кол-во молотого шлака, % к массе грунта	Кол-во сульфокarbonата к массе шлака	Кол-во цементной пыли, % к массе шлака	Предел прочности и образцов при сжатии, МПа, в возрасте, сут.		
			7	28	60
20	6	6	1,9	5,1	7,0
15	6	6	1,9	4,0	6,1
10	6	6	1,9	2,8	4,8
5	6	6	1,3	1,9	25,4

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод о том, что молотые гранулированные фосфорные шлаки в композиции с активизатором - сульфокarbonатом натрия являются перспективным вяжущим материалом. Необходимый класс прочности бетонов можно получить, регулируя количество шлака, сульфокarbonата, а также используя различные технологические приемы.

Заключения

1. Оптимальное количество щелочной добавки СКН, позволяющей получить наибольшую прочность бетона составляет – 11-14%. Меньшие и большие количества добавки снижают прочность бетона и являются нецелесообразным.
2. При твердении шлакощелочного бетона в естественных условиях с повышением срока твердения происходит непрерывное, но постепенно затухающее нарастание его прочности. Установлено, что гелиотермообработка шлакощелочного бетона оказывает эффективное воздействие на набор прочности при продолжительном времени твердения, что соответствует 42,3 МПа.
3. Установлено, что добавка портландцемента в количестве 5 % к массе молотого шлака благоприятно сказывается на прочности бетона. Содержание в бетонной смеси 5 % сульфокarbonата и 5 % цемента прочность при сжатии в 28-суточном возрасте после гелиотермообработки увеличивается более, чем в два раза по сравнению с бетоном, полученным на сульфокarbonате без добавок цемента.
4. Выявлено, что вышеуказанная особенность относится также и к шлакощелочным бетонам, в которых в качестве активизатора использовали сульфокarbonат натрия с корректирующей добавкой. Наличие пылеватоглинистых частиц от 3 до 18 % по массе практически не влияет на прочностные показатели бетона.



Список использованных литературы:

1. Alinazarov A.X. “Энергоэффективная теплотехнология получения золоцементных композиционных материалов» Монография. –Москва: РУСАЙНЕ, 2023. -168 стр.
2. Alinazarov A.X. “Энерго-и ресурсосберегающая технология получения строительных материалов и изделий методом гелиотеплохимической обработки: Монография. –Москва: РУСАЙНЕ, 2021. -138 стр
3. Аруова Л.Б. Современные воззрения на процессы твердения бетона. В кн.: - Алматы-Поиск, 2003.-№1.-С.535.
4. Аруова Л.Б. Производство железобетонных конструкций с использованием для ускорения твердения гелиотехнологии в Республике Казахстан. - В кн.: Алматы -Поиск, 2002.- №4.-С. 79.
5. Аруова Л.Б. Особенности структуры бетонов, подвергнутых различным способам гелиотермообработки.- В кн.: Алматы, Поиск 2003.- №3.-С.39-
6. Аруова Л.Б. Физические процессы в свежесформованном бетоне при твердении в различных условиях.- В кн.:Алматы,Поиск 2004.- №4.С.-76-
7. Малинский Е.Н., Орозбеков М.О. Комбинированная гелиотермообработка железобетонных изделий при круглогодичной эксплуатации полигонов //Энергосберегающие методы ускорения твердения монолитного и сборного железобетона. - М.: НИИЖБ, 1986. - С. 11-27.
8. Быкова И.В. Гелиотермообработка железобетонных изделий с применением пленкообразующих составов: Дисс.канд. техн. наук. - Москва, 1988. - С.207.
9. Подгорнов Н.И. Использование солнечной энергии при изготовлении бетонных изделий. - М.: Стройиздат.-1989.- С.33.
10. Рахимова, Н.Р. Композиционные шлакощелочные вяжущие, растворы и бетоны на их основе / Н.Р. Рахимова // Научный вестник ВГАСУ. Строительство и архитектура. - 2008. - №4(12). - С.110-118
11. Урханова, Л.А. Повышение эффективности строительных материалов с использованием механохимической активации бесклинкерных вяжущих композиций / Л.А. Урханова, П.К. Хардаев // М-лы международного конгресса «Наука и инновации в строительстве SIB-2008» (Воронеж). - 2008. С.554-560.
12. Урханова, Л.А. Получение композиционных алюмосиликатных вяжущих на основе вулканических пород / Л.А. Урханова, Е.Д. Балханова // Строительные материалы. - 2006. – С.51-53.

