

Er. 6.7
469

ISSN 0136-3549
0203-9710

TALLINNA
POLÜTEHNILISE INSTITUUDI
TOIMETISED

469

ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО
ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО
ИНСТИТУТА

ТРИ
'79

ТЕОРИЯ
И ТЕХНОЛОГИЯ
ПОЛУЧЕНИЯ
СТРОИТЕЛЬНЫХ
МАТЕРИАЛОВ
ИЗ ЗОЛ
ТВЕРДЫХ
ТОПЛИВ



Сборник статей 1X

УДК 666

● ТЕОРИЯ
И ТЕХНОЛОГИЯ
ПОЛУЧЕНИЯ
СТРОИТЕЛЬНЫХ
МАТЕРИАЛОВ
ИЗ ЗОЛ
ТВЕРДЫХ
ТОПЛИВ

Сборник статей 1X

Таллин 1979

С о д е р ж а н и е

1. Пиксарв Э.Ю., Кикас В.Х., Нурм В.И., Грабко С.И. Влияние содержания щелочных сульфатов в цементе и температуры пропаривания на деструктивные процессы в цементном камне.....	3
2. Кикас В.Х., Вихвелин Р.Л., Лаул И.А. Влияние зернового состава песка на свойства мелкозернистого бетона на сланцезольном портландцементе.....	17
3. Вихвелин Р.Л. О влиянии физических свойств заполнителей на прочностные показатели сланцезольно-портландцементного бетона.....	29
4. Лаул И.А., Кикас В.Х., Розенберг М.Г. Свойства сланцезольных цементов с микрозаполнителями при повышенном содержании клинкера.....	39
5. Хайн А.А., Розенберг М.Г. Изучение влияния содержания органических примесей в песке на ход твердения бетонов.....	45
6. Розенберг М.Г., Хайн А.А. Влияние органических примесей в песке на кинетику твердения мелкозернистых бетонов в зависимости от вида цемента.....	59

Таллинский политехнический институт

Труды ТПИ № 469

ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ЗОЛ ТВЕРДЫХ ТОПЛИВ

Сборник трудов по изучению золы сланца-кукерсита

Редактор Л. Раадо. Технический редактор Л. Лоопер

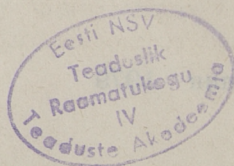
Сборник утвержден коллегией Трудов ТПИ 17 апреля 1979 года

Подписано к печати 6 декабря 1979 года. Бумага 60x90/16

Печ. л. 4,0+0,25 приложение. Уч.-изд. л. 3,83

Тираж 300. МВ-04130. Ротапринт ТПИ, Таллин, ул. Коскла, 2/9

Зак № 779. Цена 55 копеек



© ТПИ, 1979

Э.Ю. Пиксарв, В.Х. Кикас,
В.Э. Нурм, С.И. Грабко

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ЩЕЛОЧНЫХ СУЛЬФАТОВ В ЦЕМЕНТЕ И ТЕМПЕРАТУРЫ ПРОПАРИВАНИЯ НА ДЕСТРУКТИВНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЦЕМЕНТНОМ КАМНЕ

Коррозионные явления, наблюдающиеся в пропаренных бетонах, обусловлены в основном деструктивными изменениями сульфатсодержащих фаз в процессе пропаривания [1, 2, 3]. В данной работе рассматривается влияние содержащихся в портландцементе щелочных сульфатов и температуры пропаривания на деструктивные процессы, протекающие в ходе пропаривания в цементном камне.

I. Методика исследования

Цементы изготавливались на основе клинкера Белгородского цементного завода с добавкой K_2SO_4 и $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ в таком количестве, чтобы содержание SO_3 в цементе составляло 3,5 %, а содержание K_2O — 0,2; 1,0; 2,0 и 3,0 %. Изготавливались также сланцезольные портландцементы с содержанием мельчайшей фракции летучей золы 25 % с добавкой K_2SO_4 — 0, 1, 2 и 3 %. Сланцезольные портландцементы содержали соответственно SO_3 — 2,6; 3,0; 3,5 и 3,9 % и K_2O — 1,4; 1,9; 2,5 и 3,1 %. Удельная поверхность изготовленных цементов находилась в пределах 2900–3000 $см^2/г$. Химико-минералогический состав использованного клинкера: C_3S — 56 %, C_2S — 18 %, C_3A — 8 %, C_4AF — 13 %, K_2O — 0,2 %, Na_2O — 0,2 %, SO_3 — 0,3 %. Удельная поверхность добавляемой золы — 3600 $см^2/г$, содержание в ней SO_3 — 9,4 %, $CaO_{своб}$ — 8,6 %; K_2O — 4,9 %; Na_2O — 0,3 %.

Из цементов изготавливали тесто с В/Ц = 0,30, твердевшее в условиях пропаривания по режиму 3+3+6+2 часа.

Температура пропаривания – 60, 80 и 95 °С. При твердении через каждые 1,5–2 часа отбирались пробы, которые измельчались и обрабатывались абсолютным спиртом и эфиром для удаления свободной воды. Остатки эфира из проб удалялись высушиванием при 50 °С. Указанные пробы использовались для определения содержания связанной воды и несвязанного гипса, а также для проведения рентгеноструктурного анализа.

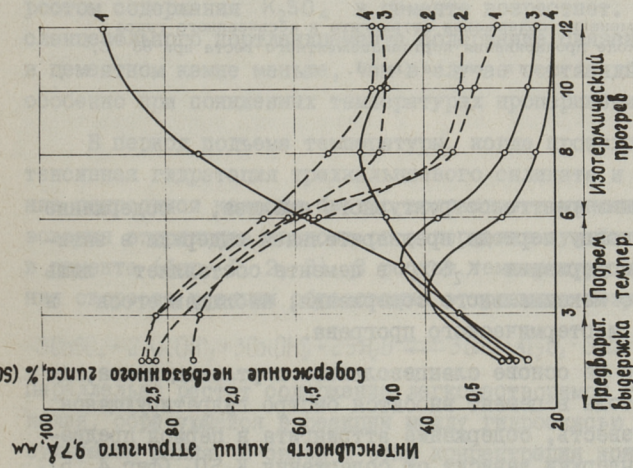
2. Изменения сульфатсодержащих фаз в пропариваемом цементном тесте

При анализе изменений сульфатсодержащих фаз в пропариваемом цементном тесте можно выделить четыре подвергнутых изучению периода: предварительную выдержку при 20°С в течение 3 часов; подъем температуры в течение 3 часов; изотермический прогрев в течение 6 часов; последующее твердение образцов в воде при 20°С.

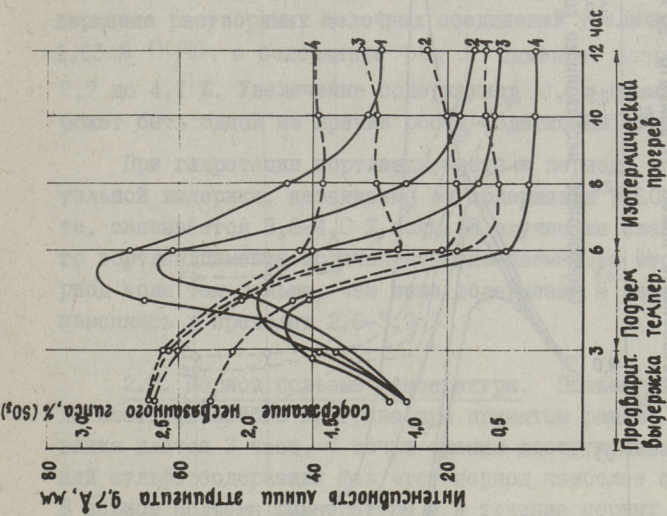
2.1. Период предварительной выдержки. Во время предварительной выдержки в твердеющем цементном тесте из сульфатсодержащих фаз можно обнаружить высокосульфатную форму гидросульфоалюмината кальция – этtringит, гипс, а в тесте сланцезольного портландцемента также ангидрит CaSO_4 .

На фиг. 1, 2 и 3 на основании данных рентгеноструктурного анализа показана кинетика образования этtringита в пропариваемом портландцементном тесте по интенсивности основной линии этtringита с $d = 9,7 \text{ \AA}$. Из фигур видно, что в период предварительной выдержки, то есть в первые 3 часа твердения при 20 °С, содержание этtringита мало зависит от содержания K_2SO_4 в цементе. В то же время по данным других исследователей увеличение содержания щелочей ведет к ускорению скорости связывания гипса и образования этtringита [4].

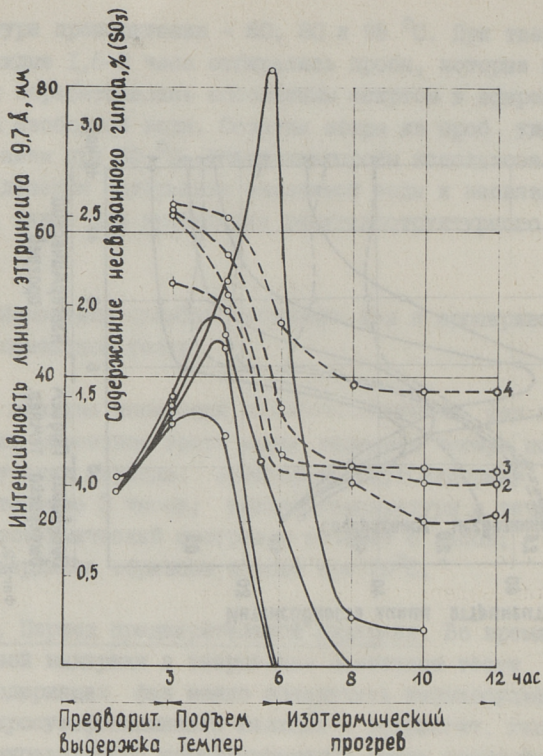
В цементном тесте или растворе свободная щелочь образуется в обменной реакции $\text{K}_2\text{SO}_4 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightleftharpoons \text{CaSO}_4 + 2\text{KOH}$. Следовательно, можно предполагать, что сдвиг реакции в сторону образования KOH и CaSO_4 происходит слишком медленно из-за недостатка гидроокиси кальция, образующейся в ходе гидратации C_3S .



Фиг. 1.
 Изменения содержания этtringита и несвязанного гипса в ходе пропаривания поргланцементного теста при 80 °С. Содержание K_2SO_4 в цементе (K₂O%): 1 - 0,2; 2 - 1%; 3 - 2%; 4 - 3%.
 — этtringит,
 - - - несвязанный гипс.



Фиг. 2.
 Изменения содержания этtringита и несвязанного гипса в ходе пропаривания поргланцементного теста при 80 °С. Обозначения см. на фиг. 1.



Фиг. 3. Изменения содержания этtringита и несвязанного гипса в ходе пропаривания портландцементного теста при 95 °С. Обозначения см. на фиг. 1.

По данным рентгеноструктурного анализа, содержание $\text{Ca}(\text{OH})_2$ к концу периода предварительной выдержки в зависимости от содержания K_2SO_4 в цементе составляет лишь 4–5 % от его максимального содержания, наблюдающегося в первые часы изотермического прогрева.

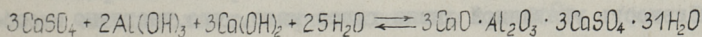
В тесте на основе сланцевольного портландцемента, где с добавкой золы в цемент вносится быстро гидратирующаяся свободная известь, содержание этtringита в период предварительной выдержки зависит от содержания K_2SO_4 (фиг. 4, 5). С увеличением добавки K_2SO_4 до 3 % интенсивность линии эт-

трингита с $d = 9,7 \text{ \AA}$ на рентгенограммах возрастает в 2,4 раза. Необходимо также отметить, что при добавлении к сланцезольному портландцементу до 3% сульфата калия содержание растворимых щелочных соединений увеличивается на 1,65 % (K_2O), а содержание SO_3 в цементе возрастает с 2,7 до 4,1 %. Увеличение содержания SO_3 в цементе тоже может быть одной из причин роста содержания этtringита.

При гидратации портландцемента в период предварительной выдержки, независимо от содержания K_2SO_4 в цементе, связывается 3,8–4,0 % воды. В случае же сланцезольного портландцемента количество связываемой за этот же период воды тем больше, чем выше содержание в цементе K_2SO_4 , изменяясь в пределах 2,6–3,9 %.

2.2. Период подъема температуры. Подъем температуры до изотермического прогрева при принятом режиме пропаривания длится 3 часа. С точки зрения деструктивных изменений сульфатсодержащих фаз этот период наиболее существен. В период подъема температуры и в течение первых двух часов изотермического прогрева происходит интенсивная гидратация цемента. За это время связывается около половины всей связываемой воды, причем содержание последней в цементном камне с увеличением температуры пропаривания и ростом содержания K_2SO_4 в цементе возрастает. В случае сланцезольного портландцемента содержание связанной воды в цементном камне меньше, чем в случае портландцемента, и особенно при пониженных температурах пропаривания.

В период подъема температуры, когда происходит интенсивная гидратация трехкальциевого силиката и содержание гидроксида кальция быстро возрастает, кинетика образования этtringита зависит от содержания сульфата калия в цементе (фиг. 1, 2, 3). С ростом температуры пропаривания скорость реакции образования этtringита возрастает:



Параллельно растет содержание легкорастворимой гидроксида калия, образующейся в реакции между гидроксидом кальция и сульфатом калия. В связи с этим концентрация ионов OH^- в жидкой фазе увеличивается, что обуславливает понижение концентрации ионов Ca^{2+} и создает предпосылки для разло-

жения этtringита. Как известно, кристаллический этtringит $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ устойчив в том случае, если содержание CaO в жидкой фазе составляет не менее 0,027 – 0,045 г/л [5, 6, 7]. В системе $\text{KOH}-\text{CaO}-\text{H}_2\text{O}$ при 20°C такой уровень растворимости CaO наблюдается при концентрации KOH в растворе 66–40 г/л. Такая концентрация щелочей возникает при гидратации цемента с содержанием K_2O 1,5 – 1,0%. Повышение же температуры вызывает еще большее снижение растворимости CaO .

Из фиг. 1 видно, что в случае пропаривания цементного теста при 60°C и содержании K_2O в цементе 0,2%, содержание этtringита в цементном камне в ходе пропаривания постоянно возрастает. При содержании K_2O в цементе, составляющем 1%, содержание этtringита достигает максимума в период изотермического прогрева. При высоком содержании K_2O в цементе (2–3%), интенсивность линий этtringита на рентгенограммах цементного камня достигает максимума уже в первые часы подъема температуры. Таким образом, чем выше содержание K_2SO_4 в цементе, тем раньше содержание этtringита достигает максимума и тем быстрее начинается его разложение.

По данным фиг. 1, разложение этtringита начинается позднее, чем это можно было предположить по содержанию K_2O в цементе. Ввиду того, что равновесие реакции образования-разложения этtringита зависит как от содержания Ca^{2+} в жидкой фазе, так и от содержания в ней SO_4^{2-} и аллюминатных ионов, при малом содержании ионов Ca^{2+} и сравнительно высокой концентрации SO_4^{2-} и аллюминатных ионов разложение этtringита еще не происходит. Из фиг. 6 видно, что на рентгенограммах цементного камня при содержаниях K_2O в цементе 0,2–1,0% интенсивность главной линии гипса с $d = 7,6 \text{ \AA}$ в период подъема температуры быстро понижается, хотя к концу цикла пропаривания некоторая часть гипса сохраняется. В случае цементов с высоким содержанием K_2O интенсивность указанной линии гипса мала, что частично обусловлено малым начальным содержанием его в цементе.

Содержание несвязанного гипса в портландцементном камне, определяемое методом Гудович по количеству SO_3 , растворяющемуся в насыщенном растворе гидроокиси кальция [8], за период подъема температуры до 60°C снижается на 0,8%.

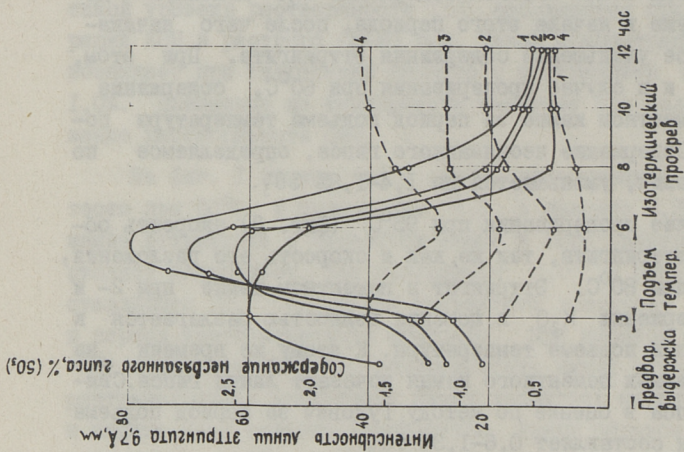
В ходе пропаривания при 80°C (фиг. 2), если содержание K_2O в цементе составляет 0,2–1,0%, содержание эттрингита достигает максимума к концу периода подъема температуры. При более высоком содержании K_2O максимум достигается уже в начале этого периода, после чего начинается быстрое уменьшение содержания эттрингита. При этом, так же, как и в случае пропаривания при 60°C , содержание гипса в цементном камне за период подъема температуры понижается. Содержание несвязанного гипса, определяемое по методу Гудович, уменьшается на 1,4–1,8% SO_3 .

В случае пропаривания при 95°C (фиг. 3) скорость образования эттрингита, так же, как и скорость его разложения, выше, чем при 80°C . Эттрингит в цементном камне при 2- и 3%-ном содержании K_2O в цементе полностью разлагается к концу периода подъема температуры. К этому же времени на рентгенограммах цементного камня исчезают линии гипса. Связывание гипса в оценке по методу Гудович за период подъема температуры составляет 0,6–1,3% SO_3 .

При пропаривании теста на основе сланцезольного портландцемента с содержанием K_2SO_4 до 2% в ходе подъема температуры до 60°C (фиг. 4) интенсивность линий эттрингита на рентгенограммах постоянно растет. При содержании K_2SO_4 3% содержание эттрингита достигает максимума к концу периода предварительной выдержки. На рентгенограммах теста линии гипса отсутствуют, однако обнаруживается достаточно интенсивная линия ангидрита CaSO_4 с $d = 3,51 \text{ \AA}$. Ангидрит растворяется и связывается в основном в период подъема температуры (табл. I).

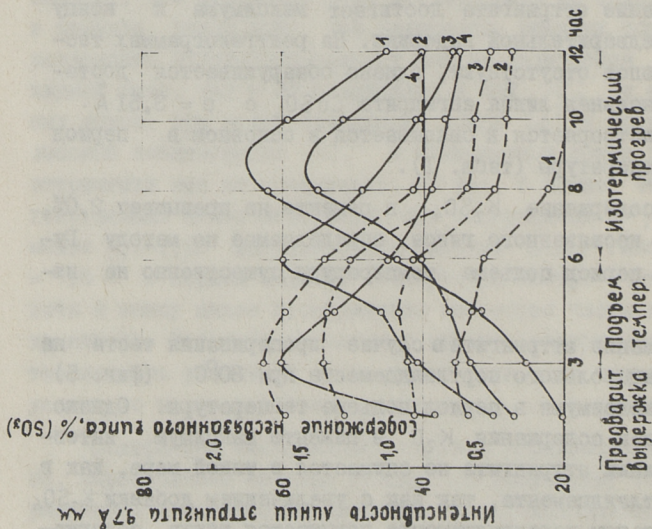
Если содержание K_2SO_4 в цементе не превышает 2,0%, содержание несвязанного гипса, определяемое по методу Гудович, за период подъема температуры существенно не изменяется.

Содержание эттрингита в случае пропаривания теста на основе сланцезольного портландцемента при 80°C (фиг. 5) достигает максимума в период подъема температуры. Однако с увеличением содержания K_2O в цементе максимум интенсивности линии эттрингита не снижается в такой мере, как в случае портландцемента, так как с увеличением добавки K_2SO_4 в сланцезольном портландцементе повышается также содержание SO_3 .



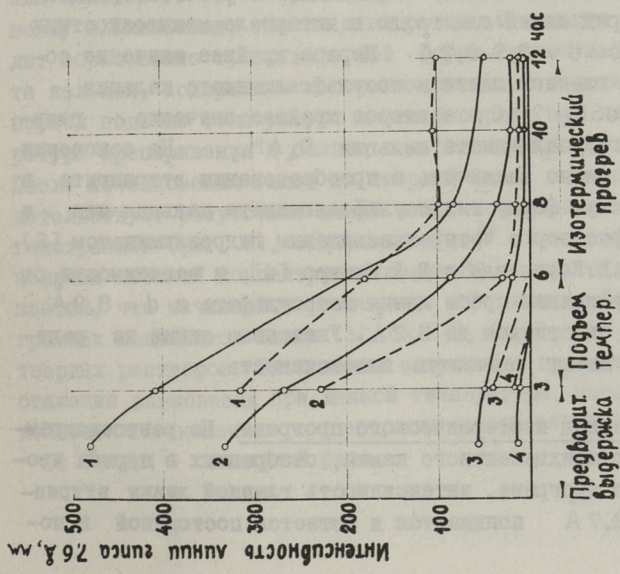
Фиг. 5.

Изменения содержания этрингита и несвязанного гипса в ходе пропаривания сланцеозольно-портландцементного теста при 80 °С. Обозначения см. на фиг. 4.



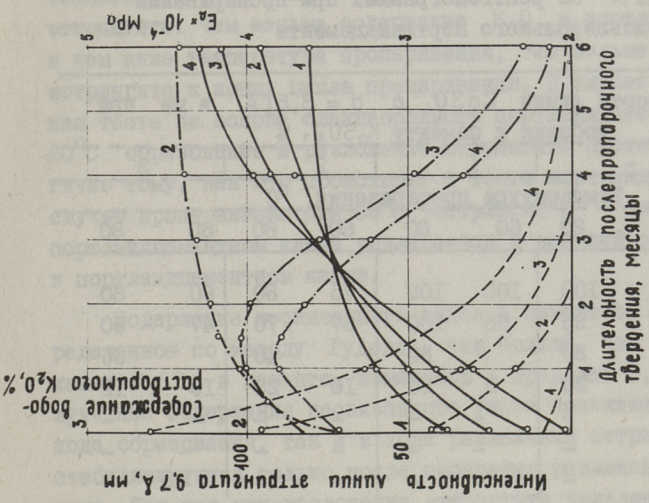
Фиг. 4.

Изменения содержания этрингита и несвязанного гипса в ходе пропаривания сланцеозольно-портландцементного теста при 80 °С. Содержание K₂SO₄ в цементе: 1 - 0,2%; 2 - 1%; 3 - 2%; 4 - 3%.
 — — — — — этрингит,
 — — — — — несвязанный гипс.



Фиг. 6.

Кинетика связывания $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ в ходе пропаривания порландцементного теста. Содержание K_2SO_4 в цементе ($\text{K}_2\text{O} \%$): 1 - 0,2%; 2 - 1%; 3 - 2%; 4 - 3%.
 - - - - - пропаривание при 60 °C;
 - - - - - пропаривание при 80 °C.



Фиг. 7.

Изменения, происходящие при хранении в воде пропаренного при 80 °C песчаного бетона. Содержание K_2SO_4 в цементе ($\text{K}_2\text{O} \%$): 1 - 0,2%; 2 - 1%; 3 - 2%; 4 - 3%.
 - - - - - содержание аттрингита,
 - - - - - содержание растворимого K_2O ,
 - - динамический модуль упругости.

Т а б л и ц а I

Изменение интенсивности линий CaSO_4 с
 $d = 3,51 \text{ \AA}$ на рентгенограммах при пропаривании
 теста сланцезольного портландцемента

Возраст образ- цов, час	Высота линии CaSO_4 с $d = 3,51 \text{ \AA}$ в мм при							
	добавке к цементу K_2SO_4 , %							
	I		2		3			
	Температура пропаривания, °C							
	60	80	60	80	60	80	60	80
1,5	95	100	100	105	75	80	60	60
3,0	95	95	95	100	67	70	47	50
4,5		80		80		40		35
6	16	20	5	20	10	20	10	12
8	6	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-

У всех проб цементного камня, отобранных в конце периода подъема температуры, когда происходит резкое уменьшение интенсивности линий этtringита, на рентгенограммах появляется ряд линий или галло в интервале межплоскостных расстояний с $d = 8,9-8,2 \text{ \AA}$. Первое крайнее значение соответствует главной линии моносulfоалюмината кальция $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, а второе крайнее значение — главной линии гидроалюмината кальция C_4AH_{13} . На основании этих данных можно заключить о преобразовании этtringита в низкосulfатную форму гидросulfоалюмината кальция или в ее твердый раствор с четырехкальциевым гидроалюминатом [6]. По данным Л.Е.Коупленда и Д.Л.Кантро [4], в зависимости от степени высушивания пробы линия моносulfата с $d = 8,9 \text{ \AA}$ также может сместиться до $8,2 \text{ \AA}$. Указанные линии на рентгенограммах имеют невысокую интенсивность.

2.3. Период изотермического прогрева. На рентгенограммах проб портландцементного камня, отобранных в период изотермического прогрева, интенсивность главной линии этtringита с $d = 9,7 \text{ \AA}$ понижается и остается постоянной в по-

следние часы этого периода. Лишь в случае пропаривания при 60°C и содержании K_2O в цементе 0,2% в конце изотермического прогрева можно еще отметить повышение содержания этtringита. Чем меньше содержание K_2O в портландцементе и чем ниже температура пропаривания, тем больше остается этtringита в конце цикла пропаривания. В случае пропаривания теста на основе сланцезольного портландцемента при 80°C образование и разложение этtringита протекает аналогично тому, как это происходит в тесте портландцемента. В случае пропаривания при 60°C этtringит в сланцезольно-портландцементном камне разлагается в меньшей степени, чем в портландцементном камне.

Содержание несвязанного гипса в цементном камне, определенное по методу Гудович, тем больше, чем выше содержание K_2SO_4 в цементе, изменяясь в пределах 0,4–1,6%. Полученные содержания несвязанного гипса понижаются как в ходе образования, так и в ходе разложения этtringита и стабилизируются только после окончания разложения этtringита. Так как при разложении этtringита выделяется гипс, он, по-видимому, связывается в другие фазы.

Из вышеприведенного следует, что в случае пропаривания цементного теста при 80 и 95°C в результате реакции между алкминатами, гипсом и гидроокисью кальция происходит образование трехсульфатной формы гидросульфалкмината кальция, содержание которого достигает максимума уже в период подъема температуры и тем быстрее, чем выше температура пропаривания и больше содержание K_2SO_4 в цементе. После исчезновения гипса из твердой фазы, о котором свидетельствует отсутствие линий этого соединения на рентгенограммах (фиг. 6), содержание Ca^{2+} в жидкой фазе при наличии высокой концентрации ионов OH^- настолько понижается, что начинается разложение этtringита. На рентгенограммах появляются линии $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ и его твердых растворов. Разложение этtringита протекает до достижения равновесия при данной температуре, которое определяется соотношением концентрации ионов алкмината, SO_4^{2-} , Ca^{2+} , OH^- в жидкой фазе.

2.4. Период после пропаривания. В послепропарочный период при нормальной температуре в системе $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{CaSO}_4-\text{K}_2\text{O}-\text{H}_2\text{O}$ этtringит является единственным стабильным сульфoалкминатом [9]. В связи с этим при наличии соответствующих условий вновь начинается образование этtringита. Такими условиями являются доступ воды и снижение концентрации ионов OH^- в жидкой фазе. При хранении пропаренных образцов цементного камня в воде или насыщенном влагой воздухе вследствие их высокой плотности проникновение воды внутрь образцов, так же, как и диффузия из образцов KOH в окружающую среду, затруднены. На рентгенограммах пропаренного при 95°C цементного теста существенной интенсивности основной линии этtringита с $d = 9,7 \text{ \AA}$ не отмечается даже после 6-7 лет хранения образцов в воде. Пропаренные при 80°C цементно-песчаные бетоны с соотношением компонентов 1:3 в сравнении с тестом имеют более пористую структуру. При последующем хранении бетонов в воде в порах пропаренных при 80°C образцов содержание KOH понижается, параллельно чему отмечается рост интенсивности линий этtringита на рентгенограммах (фиг. 7). При содержании в цементах K_2O более 1% отмечается снижение динамического модуля упругости пропаренных образцов. Вторичное образование этtringита в условиях сформировавшейся жесткой структуры материала вызывает расщепление, растрескивание и снижение прочности бетона. Коррозия протекает тем интенсивнее, чем больше разлагается первичного этtringита в ходе пропаривания бетона.

Л и т е р а т у р а

1. П и к с а р в Э.Ю., К и к а с В.Х., Н у р м В.Э. Влияние растворимых щелочных соединений на прочностные свойства песчаных бетонов. - "Тр. Таллинск. политехн. ин-та", 1977, № 434.

2. П и к с а р в Э.Ю., К и к а с В.Х., Х а й н А.А. Н у р м В.Э. Влияние щелочей на долговечность пропаренного портландцемента. Сб. трудов по изучению золы сланца-кукерсита УП. Таллин, 1975.

3. Шейкин А.Е., Курбатова И.И., Федоров А.Е., Шведов В.Н. Влияние сульфатсодержащих фаз на прочность цементного камня. - VI Международный конгресс по химии цемента, М., 1974.

4. Коупленд Л.Е., Кантро Д.Л. Химия гидратации портландцемента при обычной температуре. - Химия цементов. М., 1969.

5. Турричани Р. Гидроалюминаты кальция и родственные соединения. - Химия цементов. М., 1969.

6. Ли Ф.И. Химия цемента и бетона. М., 1961.

7. Кинд В.А., Александровский Н.А. Условия образования и существования сульфоалюмината кальция. - Строительные материалы, 1929, № 1-2.

8. Гудович Л.А. Установление оптимального и предельного содержания серного ангидрида в портландцементе. - Цемент, 1950, № 3.

9. D'Ans, J. Eick. Das System $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{CaSO}_4-\text{H}_2\text{O}$ bei 20° . - Zement-Kalk-Gips. 1953, N 9.

E. Piksarv, V. Kikas, V. Nurm, S. Grabko

The Influence of Alkaline Sulphate Content of
Portland Cement and the Temperature of Steam-Curing
on the Destructive Process of Hardened Cement Paste

Summary

This paper deals with the influence of alkaline sulphate content of the cement and of the temperature of steam-curing on the process of forming and destruction of ettringite.

A dependence between the corrosion process in the cement-stone and destruction processes taking place during the process of steam-curing is shown.

В.Х. Кикас, Р.Л. Вихвелин, И.А. Лаул

**ВЛИЯНИЕ ЗЕРНОВОГО СОСТАВА ПЕСКА НА СВОЙСТВА
МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА НА СЛАНЦЕЗОЛЬНОМ
ПОРТЛАНДЦЕМЕНТЕ**

В данной работе рассматривается возможность получения высокопрочных мелкозернистых бетонов на основе сланцезольного портландцемента. Исследовалась зависимость свойств мелкозернистого бетона и бетонной смеси от параметров зернового состава мелкого заполнителя.

Как известно, зерновой состав заполнителя является оптимальным, если он обеспечивает минимальную пустотность и удельную поверхность заполнителя. Это условие выполняется при использовании крупных фракций заполнителя. По данным исследований И.Имберта [1], гранулометрия заполнителей, а также их удельная поверхность и межзерновое трение, оказывают большое влияние на водопотребность бетонной смеси. С повышением удельной поверхности мелкого заполнителя водопотребность бетонной смеси и расход цемента для получения той же прочности возрастают.

С повышением крупности зерен (условно это выражается в повышении модуля крупности) в равных условиях прочность бетона повышается. По мнению Ицковича [2], чем выше объемная масса сухого песка, тем меньше пористость изготовленного из него бетона и тем выше получаемые прочностные показатели. Объемная масса и пористость в свою очередь сильно зависят от зернового состава песка. С понижением крупности песка, вследствие роста сольватного слоя воздуха вокруг зерен, сильно повышается его пустотность.

Существенное влияние на свойства бетона оказывает сцепление между цементным камнем и заполнителем. Величина сцепления зависит от шероховатости и чистоты поверхности

заполнителя. С уменьшением удельной поверхности и толщины слоя цементного камня вокруг зерен заполнителей она повышается. У высокопрочного бетона величина сцепления заполнителей с цементным камнем меньше прочности цементного камня на растяжение [3]. Исходя из этого, разрушение высокопрочных бетонов происходит вследствие нарушения сцепления между цементным камнем и заполнителем.

Известно, что широко используемые характеристики зернового состава, такие как модуль крупности, средний диаметр зерен и кривая просеивания, дают лишь ориентировочную информацию, что допускает возможность большой вариации свойств бетона.

Для характеристики зерновых составов разных смесей заполнителя мелкозернистого бетона в данной работе используется нормально-логарифмический закон распределения частиц Колмогорова [4]. Все приведенные зерновые составы характеризуются двумя величинами - показателем медианного размера зерна d_s и показателем неоднородности зернового состава σ . Сравнение смесей заполнителей, изготовленных на основе этого закона, весьма удобно.

Для проведения опытов были изготовлены два сланцевольных портландцемента (СПЦ) с различным зерновым составом клинкерной части. Оба СПЦ содержали 75 % клинкера из II печи завода "Пунане Кунда" и 25 % мельчайшей фракции летучей золы сланца-кукерсита с Прибалтийской ГРЭС. Содержание SO_3 в цементном клинкере составило 0,68 %. Используемая зола имела удельную поверхность $S = 3950 \text{ см}^2/\text{г}$, содержание в ней $SO_3 = 9,56 \%$ и $CaO_{св} = 8,65 \%$. СПЦ₁ с неоднородным зерновым составом клинкерной части изготовлялся по открытому циклу помола ($d_s = 14 \text{ мкм}$; $\sigma = 1,05$, $S = 3690 \text{ см}^2/\text{г}$); СПЦ₂ с однородным зерновым составом ($d_s = 13 \text{ мкм}$, $\sigma = 0,93$, $S = 2640 \text{ см}^2/\text{г}$) был получен помолом по замкнутому циклу с использованием пятиступенчатого лабораторного воздушного сепаратора. Анализ зернового состава клинкерной части изготовленных СПЦ производился с помощью центробежного воздушного сепаратора "Бако".

В качестве мелкозернистого заполнителя использовался кварцевый песок карьера "Мяннику". Для получения разных

зерновых составов песок рассеивался на 6 фракций ($< 0,14$ мм, $0,14-0,315$ мм, $0,315-0,65$ мм, $0,65-1,25$ мм, $1,25-2,5$ мм, $2,5-5,0$ мм), из которых в дальнейшем составлялись смеси мелкого заполнителя, подчиняющиеся нормально-логарифмическому закону распределения частиц. Фракционный состав используемых смесей мелкого заполнителя приведен в таблице I. Для сравнения использовался вольский песок и нефракционированный песок карьера "Мяннику".

Для исследованных песчаных смесей определялись насыпная и уплотненная объемная масса. Результаты определений приведены в таблице 2.

Т а б л и ц а 2

Зависимость объемных масс от зернового состава
песка

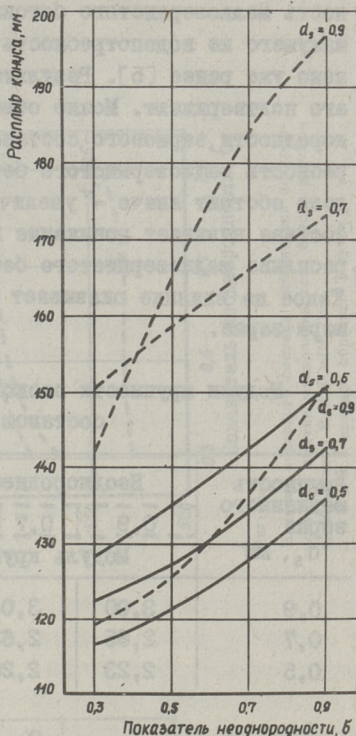
Неоднородность песка, σ	Насыпная объемная масса, кг/м^3			Уплотненная объемная масса, кг/м^3		
	Крупность медианного зерна d_a , мм			Крупность медианного зерна d_a , мм		
	0,9	0,7	0,5	0,9	0,7	0,5
0,9	1610	1600	1590	1850	1840	1840
0,7	1580	1570	1550	1810	1800	1790
0,5	1540	1530	1510	1760	1750	1740
0,3	1500	1490	1470	1690	1690	1670

Как видно из приведенных данных, зерновой состав оказывает значительное влияние на объемную массу песка. Так как объемная масса косвенно связана с пустотностью песка, а следовательно, и со свойствами мелкозернистого бетона, то можно заключить, что преимущество имеют пески с неоднородным зерновым составом. С увеличением медианного размера зерна на $0,2$ мм объемная масса увеличивается в среднем только на 10 кг/м^3 , в то время как при увеличении σ на $0,2$ насыпная объемная масса повышается в среднем на $30-40 \text{ кг/м}^3$, а уплотненная объемная масса — на $40-70 \text{ кг/м}^3$. Таким образом, в формировании величин объемной массы и пустотности песка основным влияющим фактором является неоднородность зернового состава песка, причем, чем выше неоднородность зернового состава, тем больше объемная масса и меньше пустотность песка.

Для получения смесей песка были вычислены модули крупности и удельные поверхности. Удельные поверхности вычислялись исходя из удельных поверхностей разных фракций песков. Используемая методика разработана Ахвердовым и приемлема для фракций песка "Мянику". Зависимость модуля крупности от удельной поверхности приведена в таблицах 3 и 4. Как видно из приведенных данных, величина модуля крупности зависит только от медианного размера зерна. На величину удельной поверхности влияют оба показателя зернового состава. Большее влияние на удельную поверхность оказывает медианный размер зерна, с увеличением которого происходит понижение удельной поверхности.

Для изучения влияния зернового состава заполнителя на свойства мелкозернистого бетона изготавливались образцы размерами 4x4x16 см из смеси размерами 1:3 (цемент:песок). Изготовление и испытание мелкозернистых бетонов проводилось согласно ГОСТ 310-76. Образцы испытывались на изгиб и сжатие в возрасте 7 и 28 суток. Исследование свойств мелкозернистых бетонов проводилось в условиях равного водоцементного отношения ($V/C=0,4$) и при равной подвижности ($D = II,5 \pm 0,4$ см). Зависимость подвижности и водоцементного отношения от параметров зернового состава приведена на фигуре 1.

Как видно из приведенных данных, зерновой состав как заполнителя, так и вяжущего сильно влияет на водопотреб-



Фиг. 1.

Зависимость расплыва конуса от зернового состава заполнителя мелкозернистого бетона:

————— - СзПЦ₁;

----- - СзПЦ₂.

ность мелкозернистого бетона. Влияние зернового состава вяжущего на водопотребность мелкозернистого бетона выяснено уже ранее [5]. Результаты данных опытов полностью его подтверждают. Можно отметить, что с увеличением неоднородности зернового состава вяжущего растет и водопотребность мелкозернистого бетона. В отношении заполнителя дело обстоит иначе - увеличение неоднородности зернового состава вызывает понижение водопотребности и увеличение распыла мелкозернистого бетона на встряхивающем столике. Такое же влияние оказывает и увеличение медианного размера зерна.

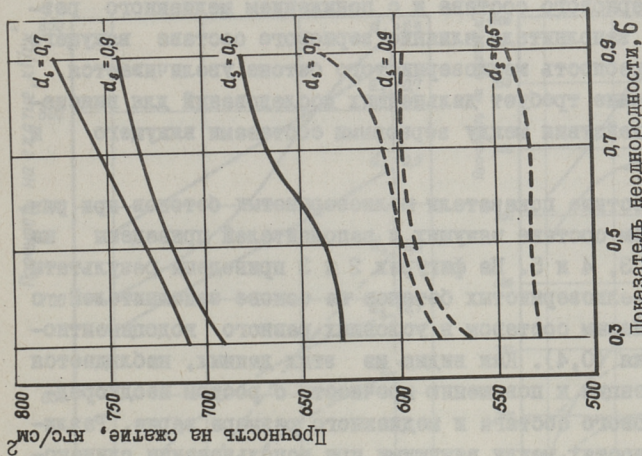
Т а б л и ц а 3
Модули крупности песков с разным зерновым составом

Крупность медианного зерна d_s , мм	Неоднородность зернового состава, σ			
	0,9	0,7	0,5	0,3
	Модуль крупности, M_{KP}			
0,9	3,00	3,04	3,05	3,06
0,7	2,65	2,63	2,62	2,62
0,5	2,23	2,20	2,18	2,17

Т а б л и ц а 4
Зависимость удельной поверхности песков от зернового состава

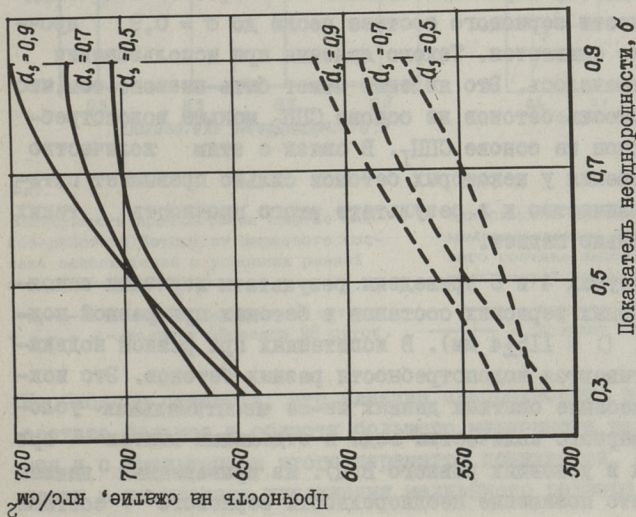
Крупность медианного зерна d_s , мм	Неоднородность зернового состава, σ			
	0,9	0,7	0,5	0,3
	Удельная поверхность S , cm^2/g			
0,9	49,3	41,2	37,5	34,2
0,7	62,2	54,4	49,3	46,0
0,5	78,8	72,3	66,3	62,2

Понижение водопотребности при увеличении медианного размера зерна можно объяснить снижением удельной поверхности заполнителя. Снижение водопотребности с повышением неоднородности зернового состава (несмотря на рост удельной поверхности), может быть обусловлено уменьшением пустотности



Фиг. 3.

Влияние зернового состава заполнителя на прочность на сжатие мелкозернистого бетона в условиях равного В/Ц (СзЩ₂):
 — — — — — возраст образцов 7 суток;
 — — — — — возраст образцов 28 суток.



Фиг. 2.

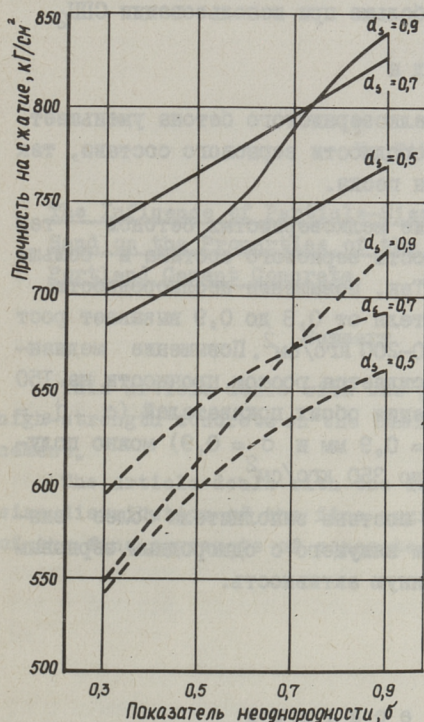
Влияние зернового состава заполнителя на прочность на сжатие мелкозернистого бетона в условиях равного В/Ц (СзЩ₁):
 — — — — — возраст образцов 7 суток;
 — — — — — возраст образцов 28 суток.

заполнителя. Так как с повышением неоднородности зернового состава пустотность уменьшается, можно полагать, что появляется избыток смазки (цементного теста) между зернами заполнителя, вследствие чего расплыв мелкозернистого бетона возрастает. Из фигуры I следует, что с ростом неоднородности зернового состава и с понижением медианного размера зерна заполнителя влияние зернового состава вяжущего на водопотребность мелкозернистого бетона увеличивается. Данное явление требует дальнейших исследований для выяснения взаимодействия между зерновыми составами вяжущего и заполнителя.

Прочностные показатели мелкозернистых бетонов при разном зерновом составе вяжущих и заполнителей приведены на фигурах 2, 3, 4 и 5. На фигурах 2 и 3 приведены результаты испытания мелкозернистых бетонов на основе заполнителей с разным зерновым составом в условиях равного водоцементного отношения (0,4). Как видно из этих данных, наблюдается общая тенденция к повышению прочности с ростом неоднородности зернового состава и медианного размера зерна. Различие в прочностях между вяжущими при использовании одинаковых заполнителей невелико. В бетонах на основе СПШ_2 (помол в замкнутом цикле) максимальная прочность достигается при медианной крупности зерна мелкого заполнителя $d_s = 0,7$ мм и неоднородности зернового состава $\sigma = 0,7$. С повышением неоднородности зернового состава песка до $\sigma = 0,9$ прочность резко снижается. Такого явления при использовании СПШ_I не отмечалось. Это явление может быть вызвано тем, что водопотребность бетонов на основе СПШ_2 меньше водопотребности бетонов на основе СПШ_I . В связи с этим количество воды затворения у некоторых бетонов сильно превышает оптимальное количество и в результате этого прочность таких бетонов сильно падает.

На фигурах 4 и 5 приведены результаты изучения заполнителей разных зерновых составов в бетонах при равной подвижности ($D = 115 \pm 4$ мм). В испытаниях при равной подвижности учитываются водопотребности разных бетонов. Это исключает колебание опытных данных из-за неоптимальных условий (чрезмерного количества воды в отдельных опытах при испытаниях в условиях равного В/Ц). Из приведенных данных следует, что повышение неоднородности зернового состава

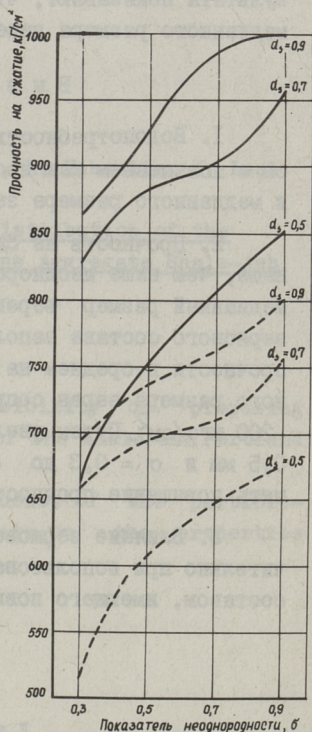
заполнителя σ от 0,3 до 0,9 вызывает рост прочности в среднем на 100 кгс/см² при использовании СЩ₁ и на 120 кгс/см² при использовании СЩ₂.



Фиг. 4.

Зависимость прочности на сжатие мелкозернистого бетона от зернового состава заполнителей в условиях равной подвижности (СзЩ₁):

— — — — — возраст образцов 7 суток;
 - - - - - возраст образцов 28 суток.



Фиг. 5.

Зависимость прочности на сжатие мелкозернистого бетона от зернового состава заполнителей в условиях равной подвижности (СзЩ₂):

— — — — — возраст образцов 7 суток;
 - - - - - возраст образцов 28 суток.

Необходимо отметить, что влияние однородности зернового состава большее в области большего медианного размера зерен и с уменьшением этого параметра понижается. Рост прочности в результате увеличения медианного размера зерен

d_s от 0,5 до 0,9 мм составляет в зависимости от неоднородности зернового состава 15...77 кгс/см² при использовании СЩ₁ и 208-162 кгс/см² в случае СЩ₂. Полученные результаты показывают, что положительное влияние увеличения медианного размера зерен больше при использовании СЩ₂.

В ы в о д ы

1. Водопотребность мелкозернистого бетона уменьшается с повышением как неоднородности зернового состава, так и медианного размера зерен песка.

2. Прочность на сжатие мелкозернистых бетонов тем выше, чем выше неоднородность зернового состава и больше медианный размер зерен. Так, повышение неоднородности зернового состава заполнителя от 0,3 до 0,9 вызывает рост прочности в среднем на 130-200 кгс/см². Повышение медианного размера зерен сопровождается ростом прочности на 150-200 кгс/см². Путем увеличения обоих показателей (с $d_s = 0,5$ мм и $\sigma = 0,3$ до $d_s = 0,9$ мм и $\sigma = 0,9$) можно получить повышение прочности до 350 кгс/см².

3. Влияние зернового состава заполнителя более значительно при использовании вяжущего с однородным зерновым составом, имеющего повышенную активность.

Л и т е р а т у р а

1. Imbert Ignatius D.C. Influence of the grading of aggregates on concrete mix proportions. - Highway Res. Res. 1973, N 441.

2. И ц к о в и ч С.М. Заполнители для бетона. Минск, Высшая школа, 1972.

3. Н е в и л л А.М. Свойства бетона. М., Изд-во литературы по строительству, 1972.

4. К о л м о г о р о в А.Н. О логарифмически-нормальном законе распределения частиц при дроблении. - Доклад АН СССР, том XXXI, 1941, № 2.

5. Усталу Э.И., Кикас В.Х. О влиянии дисперсности компонентов сланцевольного портландцемента на его активность. - Труды научно-технической информации "Изучение и применение сланцевольных цементов", 1971.

V. Kikas, R. Vihvelin, I. Laul

The Influence of Particle-Size Distribution of the Sand on the Properties of the Fine Aggregate Shale-Ash Portland Cement Concrete

Summary

This article deals with the possibility of preparing high-strength concrete on the basis of the shale-ash Portland cement.

The article deals with the influence of the particle-size distribution of the fine aggregate on the properties of the fine aggregate of concrete.

О ВЛИЯНИИ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ НА
ПРОЧНОСТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ СЛАНЦЕЗОЛЬНО-
ПОРТЛАНДЦЕМЕНТНОГО БЕТОНА

Важнейшими физическими свойствами заполнителей, от которых во многом зависят свойства бетонной смеси и прочность бетона, являются их зерновой состав, форма зерен и шероховатость поверхности. Целью данной работы является выяснение влияния зернового состава и формы зерен на прочностные показатели сланцезольно-портландцементного бетона.

Широко используемые характеристики зернового состава заполнителей, такие как модуль крупности, средний диаметр зерен и кривая просеивания, не характеризуют зерновой состав с необходимой точностью, так как на их основе невозможно получить достаточную информацию о зерновом составе заполнителя как о факторе, определяющем свойства бетонной смеси и бетона.

В данной работе зерновой состав заполнителей оценивается с помощью параметров нормально-логарифмического закона распределения частиц по размерам — медианного размера зерен и показателя неоднородности зернового состава, позволяющих с помощью двух величин исчерпывающе характеризовать зерновые составы разных заполнителей [1]. Кроме того, исследовалось влияние формы зерен на качество бетона. Форму зерен крупного заполнителя оценивали с помощью ряда коэффициентов по методике Рухина [2].

В качестве вяжущего в опытах использовали сланцезольный портландцемент, содержащий 75 % цементного клинкера и 25 % мельчайшей фракции летучей золы сланца-кукерсита. Клинкер был изготовлен на заводе "Пунане Кунда" в августе 1976 года. Химический состав клинкера следующий: CaO — 63,4 %, SiO_2 —

21,09 %, Al_2O_3 - 6,21 %, Fe_2O_3 - 3,44 %, MgO - 4,58 %, P_2O_5 - 0,35 %, TiO_2 - 0,24 %, R_2O - 0,53 %, SO_3 - 0,68 %, $CaO_{св}$ - 0,6 %. Зола была получена из электрофильтров Прибалтийской ГРЭС (модуль качества $M_{кач} = 457^*$). Цемент размалывался в лабораторной шаровой мельнице до удельной поверхности $3700 \text{ см}^2/\text{г}$. При испытании этот цемент показал активность $457 \text{ кгс}/\text{см}^2$ по ГОСТ 310-76.

В качестве мелкого заполнителя для бетонов использовался кварцевый песок карьера "Мянику" ($d_s = 0,4 \text{ мм}$, $\sigma = 0,7$). Песок был рассеян на отдельные фракции, из которых составлялись пески требуемого зернового состава. Для сравнительных опытов использовался природный песок карьера "Мянику". Зерновые составы мелкого заполнителя приведены в таблице I.

Т а б л и ц а I

Фракция, мм	Зерновой состав мелкого заполнителя		Песок "Мянику"

	Медианный диаметр зерен $d_s = 0,7 \text{ мм}$		$d_s = 0,4 \text{ мм}$
	Неоднородность зернового состава σ		$\sigma = 0,7$
	0,9	0,5	-----
	Частный остаток, %		
<0,14	4,0	-	2,8
0,14-0,315	16,0	5,5	47,1
0,315-0,63	28,0	38,5	31,1
0,63-1,25	27,0	45,0	13,3
1,25-2,5	17,0	10,6	4,7
2,5-5	8,0	0,5	1,0

Исходным материалом для получения крупного заполнителя служил гранитный щебень карьера "Падисе". На основе названного щебня изготовлялись два вида смесей крупного заполнителя. Исходный материал был промыт и расфракционирован. Из полученных фракций составлялись смеси щебня, неоднород-

$$* M_{кач} = \frac{S}{CaO_{св}}$$

S - удельная поверхность золы, $\text{см}^2/\text{г}$;

$CaO_{св}$ - содержание в золе свободной извести, %.

ность зернового состава которых изменялась от 0,5 до 0,9, а медианный размер d_s был постоянным (12,5 мм). В данном случае использовались фракции исходного материала, а в другом – предварительно проводилось его истирание в течение 5 часов в полочном барабане (ГОСТ 8269-64) без шаров.

Истирание производилось для выяснения влияния формы и шероховатости поверхности зерен на водопотребность и прочностные показатели бетона. За один прием истиранию подвергалось 30 кг исходного щебня, из которого предварительно были удалены частицы крупностью до 2,5 мм. В ходе истирания за 5 часов образовалось 12 % фракции 0-2,5 мм. При истирании происходило сглаживание ребер у зерен заполнителя и исчезновение возникших в процессе измельчения повреждений структуры (открытых трещин и острых слабо связанных выступов на зернах). Дробимость исходного материала D_p по ГОСТ 8269-64 в среднем составляла 16 %, а после истирания без шаров – 12 %. Из полученного таким образом материала изготавливались смеси щебня, фракционный состав которых приведен в таблице 2.

Т а б л и ц а 2

Фракционный состав щебня с $d_s = 12,5$ мм

Фракция, мм	Неоднородность зернового состава σ			Фракция 10-20 мм щебня "Падисе"
	0,9	0,7	0,5	
Частный остаток на сите, % по массе				
2,5-5	17,0	11,0	4,0	2,8
5-10	25,0	28,0	31,0	12,1
10-20	29,0	37,0	50,0	75,8
20-25	29,0	24,0	15,0	9,3

На основе исходных материалов, охарактеризованных выше, изготавливались бетоны с равными расходами цемента ($C = 350$ кг/м³) и подвижностью ($OK = 4-7$ см). Необходимое количество сухих компонентов и воды определялось по методу абсолютных объемов, исходя из пустотности щебня и подвижности бетонной смеси. Расход компонентов на 1 м³ бетона приведен в таблице 3.

Т а б л и ц а 3

Расход компонентов бетонной смеси

Вид щебня в бетоне	Неоднородность зернового состава щебня, σ	Медианный диаметр зерна d_s , мм	Цемент	Песок ^{х)}	Щебень
			Ц	П	
			кг/м ³		
Составленная смесь без истирания	0,9	12,5	350	676	I230
	0,7	12,5	350	704	I20I
	0,5	12,5	350	738	II67
Составленная смесь с истиранием	0,9	12,5	350	516	I44I
	0,7	12,5	350	534	I4I2
	0,5	12,5	350	545	I397
Фракция 10-20 мм гранитного щебня карьера "Падисе"			350	733	II48

х) Зерновой состав всех смесей песка одинаковый ($d_s=0,7$ мм; $\sigma = 0,9$).

Бетонные смеси получали в лабораторной бетономешалке принудительного действия. Смеси перемешивали в течение 1 минуты без добавления воды, а затем 3 минуты с водой. Объемная масса бетонных смесей определялась в сосуде объемом 2,5 литра. Сосуд с бетонной смесью вибрировался в течение 25 секунд, после чего поверхность выравнивалась и определялась масса.

Воздухосодержание бетонной смеси определялось по ГОСТ 4799-69. Бетонные смеси укладывались в формы 10x10x10 см и уплотнялись по ГОСТ 4799-69. После суточного твердения в нормальных условиях образцы освобождались от форм и путем взвешивания определялась объемная масса бетона.

Изготовленные образцы испытывались на сжатие после 7 и 28 суток нормального твердения. Полученные результаты были редуцированы на прочность стандартного куба размерами 15x15x15 см.

Форма зерен оценивалась для обоих видов заполнителя (истиравшегося и естественного) отдельно от каждой фракции щебня.

По результатам измерений можно заключить, что зерна истиравшихся фракций 10-20 и 20-25 мм относятся к уплотненным, а фракции 5-10 мм - к цилиндрическим зернам. Все фракции истиравшегося щебня содержат зерна округлой формы. Зерна истиравшегося материала, имеющие округлую форму и высокую степень сглаженности углов, значительно плотнее укладываются в сравнении с натуральным щебнем и обеспечивают получение более плотной структуры бетона.

Насыпная объемная масса крупного заполнителя при прочих равных условиях определяет его пустотность, а тем самым и необходимое для получения плотного бетонного камня количество раствора (цемент+песок). Насыпные объемные массы и пустотности (П) исследуемых смесей щебня приведены в таблице 4.

Т а б л и ц а 4

Насыпные объемные массы и пустотности смесей щебня

Вид щебня	Неоднородность σ	d_s мм	Насыпная объемная масса γ_0 , кг/м ³	Пустотность П, %
без истирания	0,9	12,5	1460	45,7
	0,7	12,5	1430	46,8
	0,5	12,5	1400	48,0
с истиранием	0,9	12,5	1660	38,3
	0,7	12,5	1630	39,4
	0,5	12,5	1620	39,8
"Падисе"	0,16		1370	49,1

Как видно из приведенных данных, путем изменения формы зерен и неоднородности зернового состава заполнителя можно повысить объемную массу в сравнении с естественным щебнем карьера "Падисе" в среднем на 22 %. Это приведет к довольно большому изменению пустотности и ряда свойств бетонной смеси и самого бетона.

В таблицах 5 и 6 приведены результаты испытания заполнителей с разным зерновым составом и формой зерен в тяжелом бетоне.

Физические свойства заполнителей бетона (d_s песка - 0,7 мм;
щебня - 12,5 мм)

Вид обработки	Показатель неоднородности зернового состава σ		γ_0 , кг/м ³		Пустотность, %		насыпного щебня
	песка	щебня	насыпного песка	уплотненного песка	насыпного песка	уплотненного песка	
без истирания	0,9	0,5	1600	1840	39,6	30,6	48,0
		0,7					46,8
		0,9					45,7
с истиранием	0,5	0,5	1530	1750	42,3	34,0	48,0
		0,7					46,8
		0,9					45,7
без истирания ^{х)}	0,9	0,5	1600	1840	39,6	30,6	39,8
		0,7					39,4
		0,9					38,3
без истирания ^{х)}	0,5	0,5	1530	1750	42,3	34,0	39,8
		0,7					39,4
		0,9					38,3
			1530	1720	42,3	35,1	49,1

х) Использовали природный песок "Мянику" и фракцию щебня "Падисе" 10-20 мм.

Свойства бетонов с разным зерновым составом и постоянным d_s песка и щебня (0,7 и 12,5 мм)

Вид обработки щебня	Показатель неоднородности зернового состава σ		Действ. расход цемента, кг/м ³	Расход воды л/м ³	W	ОК, см	Содержание воздуха в бетонной смеси, %	γ ₀ бетона, кг/м ³	Прочность на сжатие, кгс/см ²	
	песка	щебня							7 суток	28 суток
без истирания	0,9	0,5	352	158	0,451	5,8	1,00	2420	503	662
		0,7	355	157	0,447	6,8	1,24	2392	497	655
		0,9	352	164	0,466	7,0	1,56	2386	478	616
с истиранием		0,5	351	162	0,461	6,5	1,09	2414	486	645
	0,9	0,7	353	160	0,458	5,9	1,44	2387	477	633
		0,9	354	167	0,476	6,5	1,61	2375	460	612
Природный песок "Менлику" + фракция 10-20 мм щебня "Палисе"		0,5	357	143	0,408	5,3	0,56	2430	538	648
	0,9	0,7	352	143	0,407	6,0	0,46	2436	552	660
		0,9	353	143	0,409	6,0	0,40	2441	585	682
		0,5	356	142	0,405	5,3	0,78	2439	533	664
	0,9	0,7	350	147	0,419	5,0	0,85	2425	505	623
	0,9	0,9	348	148	0,424	4,8	0,89	2418	496	603
			352	169	0,473	5,0	1,72	2358	434	535
										655

Из таблиц видно, что рост прочности при изменении неоднородности зернового состава крупного заполнителя незначителен и составляет в возрасте 28 суток до 60 кгс/см^2 . При использовании неистиравшегося щебня изменение прочности за счет повышения неоднородности зернового состава песка также остается незначительным. Названные факторы мало влияют на свойства бетона, однако имеются аналогичные тенденции изменения свойств бетона при использовании неистиравшегося щебня.

Свойства бетона при повышении неоднородности зернового состава щебня ухудшаются: увеличивается содержание воздуха в бетонной смеси, а объемная масса и прочность при сжатии бетона снижается. Так как зерна неистиравшегося щебня имеют уплотненную цилиндрическую форму и угловатую поверхность, то можно полагать, что хотя пустотность в случае неоднородных зерновых составов щебня меньше, его плотная укладка в бетоне затрудняется.

Проведенные нами ранее испытания показали, что с повышением неоднородности σ песка прочностные свойства бетона улучшаются. В случае щебня такая закономерность отмечалась только после истирания щебня, во всех других случаях наблюдается обратное влияние: прочность снижается. Вероятно, это обусловлено тем, что с повышением неоднородности σ щебня воздухосодержание повышается и водопотребность бетонной смеси тоже повышается, а объемная масса бетона снижается.

При использовании в качестве крупного заполнителя истирившегося щебня отмечается повышение прочностных показателей бетона в сравнении с показателями бетона на основе неистирившегося щебня. Улучшаются также другие показатели бетона. Содержание воздуха уменьшается в среднем на половину, а объемная масса бетона повышается на $10\text{--}15 \text{ кг/м}^3$.

Опыты показали, что при использовании неоднородного песка ($\sigma = 0,9$) снижение неоднородности зернового состава истирившегося щебня вызывает падение прочности. В случае песка с $\sigma = 0,5$ изменение неоднородности зернового состава истирившегося щебня влияет на прочность не так, как это отмечалось в случае неистирившегося щебня. По мнению

авторов, это явление может быть вызвано тем, что все фракции истиравшегося щебня имеют округлую форму и гладкую поверхность, что дает возможность уплотняться самому щебню и создает благоприятные условия для заполнения межзерновых пустот раствором. Учитывая также меньшую пустотность песка с неоднородным зерновым составом, можно полагать, что при отмеченных выше условиях раствор в пустотах щебня укладывается плотнее. С этими заполнителями была достигнута максимальная прочность.

В песке с однородным зерновым составом, очевидно, не хватает мелких фракций для получения бетонного камня с такой же плотностью, как и при использовании песка с неоднородным зерновым составом. То, что свойства бетонов с истиранным щебнем были предпочтительнее, несмотря на меньшее сцепление между зернами крупного заполнителя и цементным камнем в сравнении с неистранным щебнем, можно объяснить тем, что пустотность уплотненного заполнителя значительно уменьшается, что способствует получению плотного бетонного камня. Кроме того, значительно уменьшается водопотребность бетонных смесей, изготовленных на таких заполнителях.

В ы в о д ы

1. Повышение неоднородности зернового состава и среднего размера зерен песка повышает прочность бетона. При этом пустоты крупного заполнителя заполняются плотным раствором, что обеспечивает получение прочного скелета бетонного камня.

2. Оптимальным крупным заполнителем следует считать щебень с однородным зерновым составом (за исключением щебня с округлыми зернами, имеющими гладкую поверхность). Очевидно, присутствие разных фракций в щебне затрудняет упаковку заполнителя в бетонном камне.

Л и т е р а т у р а

1. Колмогоров А.Н. О логарифмически-нормальном законе распределения частиц при дроблении. Доклад АН СССР, том. XXXI, № 2, 1941

2. Рухин Л.Б. Основы литологии. Гостоптехиздат. М., 1953.

The Influence of the Physical Properties of the
Aggregate on the Shale-Ash Portland Cement Concrete

Summary

This article deals with the influence of the particle-size distribution and of the form of the grain of concrete aggregate on the strength of the shale-ash Portland cement concrete.

For characterization of the particle-size distribution of the aggregate the indexes of the log-normal rule of grain size distribution are used.

И.А. Лаул, В.Х. Кикас,
М.Г. Розенберг

СВОЙСТВА СЛАНЦЕЗОЛЬНЫХ ЦЕМЕНТОВ
С МИКРОНАПОЛНИТЕЛЯМИ ПРИ ПОВЫШЕННОМ
СОДЕРЖАНИИ КЛИНКЕРА

Ввиду того, что производство клинкера в цементной промышленности является трудоемким и дорогостоящим процессом, при изготовлении цементов целесообразно уменьшать содержание клинкера. Одним из путей снижения содержания клинкера является производство вяжущих с использованием зол сланца-кукерсита. Поскольку чрезмерное увеличение содержания золы в цементе вызывает неравномерное изменение объема цемента, для улучшения его качества часть добавки золы заменяется микронаполнителем.

Эффективные сланцезольные цементы можно получать совместным помолом 3-компонентной смеси, состоящей из цементного клинкера, инертной добавки и мелкой или мельчайшей фракции летучей золы сланца-кукерсита.

В данной статье рассматриваются вяжущие, полученные совместным помолом в лабораторной шаровой мельнице 50 % портландцементного клинкера, 0-50 % летучей золы сланца-кукерсита и 50-0 % кварцевого песка. Продолжительность их помола составляла 60 минут. При такой продолжительности бездобавочный портландцемент достигает удельной поверхности $2800 \pm 50 \text{ см}^2/\text{г}$.

Физико-химические показатели использованной летучей золы приведены в таблице I. Для сравнения кроме золы сланца-кукерсита использовалась буроугольная зола Назаровской ГРЭС.

При изготовлении вяжущих был применен клинкер завода "Пунане Кунда" с содержанием SO_3 2,9 %. Гипс добавлялся

только при изготовлении цемента без добавки летучей золы с тем, чтобы содержание SO_3 в цементе составляло 3 % от массы цемента.

Т а б л и ц а I

Физико-химические показатели использованной
летучей золы

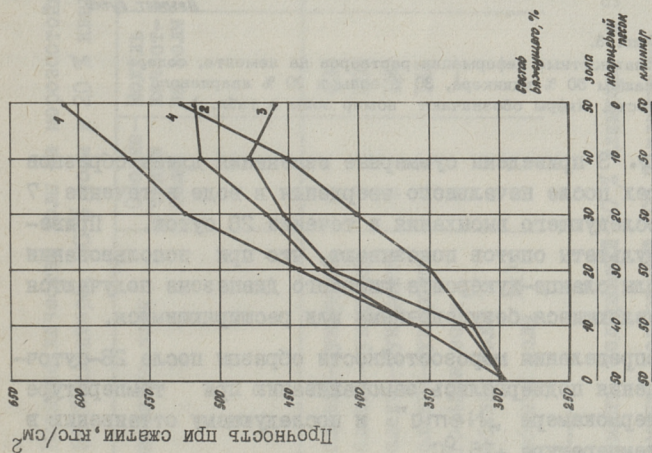
Обозначение золы	Наименование тепловых электростанций	Удельная поверхность, $см^2/г$	Содержание $CaO_{св.}$, %	Модуль качества золы
1	Прибалтийская ГРЭС	4620	6,5	710
2	Прибалтийская ГРЭС	3240	8,0	400
3	Прибалтийская ГРЭС	3080	12,0	260
4	Назаровская ГРЭС	3000	-	-
5	Прибалтийская ГРЭС	2430	12,6	190
6	Прибалтийская ГРЭС	2060	14,2	145

Исследования проводились на растворах 1:3 (вяжущее : вольский песок) по ГОСТ 310-76.

На фиг. I приведены зависимости прочности растворов при сжатии после 28 суток твердения в водной среде от состава цемента. Как видно из этой фигуры, с увеличением содержания золы в цементах повышается их активность.

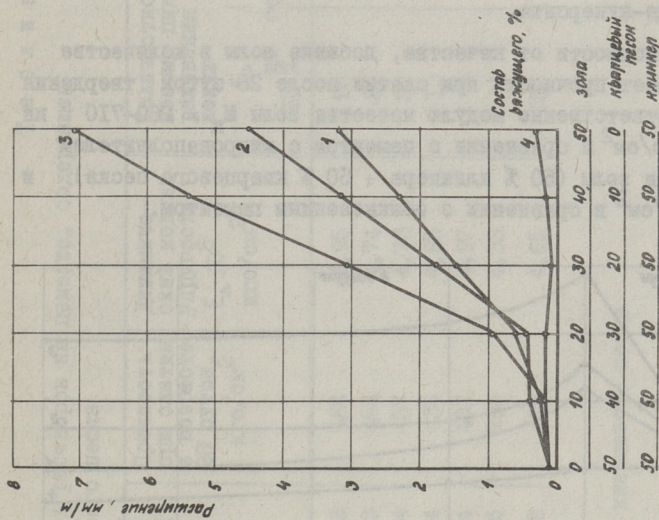
При использовании золы сланца-кукерсита более высокого качества с увеличением содержания золы активность цемента еще интенсивнее возрастает. Так, добавление высококачественной золы ($M_K = 710$) в количестве 10-40 % повышает прочность при сжатии соответственно в 1,2-1,9 раза в сравнении с цементом с таким же содержанием клинкера без добавки золы.

С увеличением содержания в цементе низкокачественной золы ($M_K = 260$), прочность растворов возрастает до определенного предела, после чего она начинает уменьшаться. Падение прочности обусловлено чрезмерным расширением, которое резко увеличивается с повышением содержания золы сланца-кукерсита в составе цемента. Величины расширения растворов после 28 суток твердения в воде приведены на фиг.2.



Фиг. 1.

Зависимость прочности при сжатии растворов после 28 суток твердения в воде от состава вяжущего. Цифры обозначают номер золь в табл. 1.

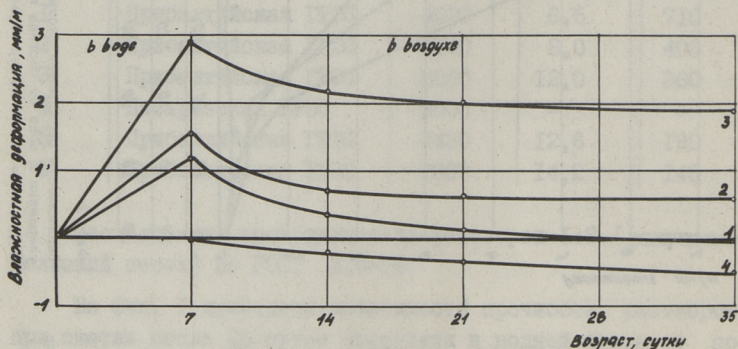


Фиг. 2.

Зависимость расширения растворов после 28 суток твердения в воде от состава вяжущего. Цифры обозначают номер золь в табл. 1.

Ввиду того, что повышенное содержание низкокачественной золы в составе цемента приводит к понижению активности цемента и повышенное содержание высококачественной золы превышает допустимое содержание SO_3 в цементе, оптимальной в цементах с микронаполнителями является 30-процентная добавка золы сланца-кукерсита.

В зависимости от качества, добавка золы в количестве 30 % повышает прочность при сжатии после 28 суток твердения в воде соответственно модулю качества золы $M_K = 260-710$ на $150-220 \text{ кгс/см}^2$ в сравнении с цементом с микронаполнителем без добавки золы (50 % клинкера + 50 % кварцевого песка) и $40-100 \text{ кгс/см}^2$ в сравнении с обыкновенным цементом.



Фиг. 3.

Влажностные деформации растворов на цементе, содержащем 50 % клинкера, 30 % золы и 20 % кварцевого песка. Цифры обозначают номер золы в табл. 1.

На фиг. 3 приведены суммарные изменения длины образцов на растворах после начального твердения в воде в течение 7 суток и последующего высыхания в течение 28 суток. Приведенные результаты опытов показывают, что при использовании летучей золы сланца-кукерсита широкого диапазона получаются вяжущие, являющиеся безусадочными или расширяющимися.

Для определения морозостойкости образцы после 28-суточного твердения подвергались замораживанию при температуре -20°C в термокамере „Nema” и последующему оттаиванию в воде при температуре $+15^\circ\text{C}$.

В таблице 2 приведены данные о влиянии качества золы на морозостойкость растворов.

Влияние качества золы на морозостойкость растворов на цементе, содержащем 50 % клинкера, 30 % золы и 20 % кварцевого песка

Наименование золы	Обозначение золы	Модуль качества золы	В/Ц	Прочность при сжатии в возрасте 28 суток, кгс/см ²	Динамический модуль упругости E _d ·10 ⁵ кгс/см ²	Количество выдерживаемых циклов замораживания при снижении E _d веса не более 5 %
Зола сланца-кукерсита	2	400	0,33	466	4,95	95
Зола сланца-кукерсита	3	260	0,33	454	4,74	82
Зола сланца-кукерсита	5	190	0,34	457	4,73	50
Зола сланца-кукерсита	6	145	0,34	433	4,85	12
Буроугольная зола	4	-	0,34	402	4,97	8
Без добавки золы			0,36	296	4,33	4
Без добавки золы			0,38	418	4,65	150

x) Цемент, содержащий 50 % клинкера и 50 % кварцевого песка

xx) Цемент, содержащий 100 % клинкера.

Испытания показывают, что наличие зол сланца-кукерсита в составе цемента повышает морозостойкость растворов. Рост морозостойкости тем интенсивнее; чем выше качество используемой золы сланца-кукерсита. Одним из существенных факторов, оказывающих отрицательное влияние на морозостойкость растворов на основе сланцево-золевых цементов пониженного качества, является чрезмерное расширение раствора в период твердения. Расширение раствора сопровождается повышением внутренних напряжений в цементном камне, что способствует возникновению в растворе микротрещин и ухудшению контакта между цементным камнем и песком.

В ы в о д ы

1. С целью использования летучих зол сланца-кукерсита и экономии клинкера разработан следующий состав сланцево-золевого цемента с микронаполнителями:

портландцементный клинкер	45-55 %
мелкая или мельчайшая фракция летучей золы	25-35 %
микронаполнитель (кварцевый песок, известняк)	15-25 %

2. Цементы вышеуказанного состава по ГОСТ 310-76 имеют марку "400-500" соответственно при использовании золы с модулем качества 260-710.

I. Laul, V. Kikas, M. Rosenberg

The Properties of Oil Shale Ash Cement with Microfillers and High Clinker Content

Summary

The paper examines the binding materials obtained by grinding together 50 per cent Portland cement clinker, 0...50 per cent oil-shale kukersite fly ash and 50...0 per cent quartz sand.

According to the results of the investigations, in order to use oil-shale kukersite fly ash and to economize clinker, the most effective composition of oil-shale ash cement with microfillers proved to be following:

Portland cement clinker	45...55 per cent,
fine or finest fraction of fly ash	25...35 per cent,
microfiller (quartz sand or limestone)	15...25 per cent.

А.А. Хайн, М.Г. Розенберг

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ
ПРИМЕСЕЙ В ПЕСКЕ НА ХОД ТВЕРДЕНИЯ БЕТОНОВ

Содержание органических примесей в песке, используемом в бетонах, ограничивается требованиями ГОСТ 8736-77. Критерием при этом является цвет 3-процентного раствора NaOH над слоем песка, который должен быть не темнее цвета, предусмотренного эталоном.

Целью данного исследования является выяснение влияния содержания органических примесей в песке на ход твердения бетонов. Необходимость изучения этой проблемы вытекает из того обстоятельства, что карьер Мяннику, снабжающий песком Таллинские заводы железобетонных изделий, имеет ограниченные запасы чистого песка по содержанию органических примесей. В то же время к карьере Мяннику прилегают территории, на которых под заболоченной поверхностью расположены залежи песка, содержание органических примесей в котором превышает допустимый предел до 50 раз.

При изучении влияния содержания органических примесей в песке на свойства бетонов использовались два вида песка из карьера Мяннику. Ниже в зависимости от содержания органических примесей в песке они названы: песок с органическими примесями и чистый песок.

Физико-механические показатели использованных песков приведены в таблице I.

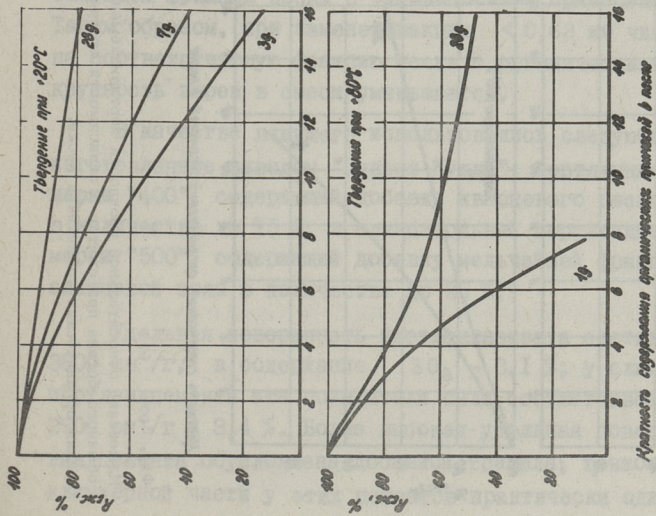
Содержание органических примесей в песке определялось по ГОСТ 8735-75 в 3-процентном растворе NaOH , цвет которого над песком сравнивался с цветом эталона. Цвет раствора над чистым песком оставался светло-желтым и был значительно светлее цвета эталона. Таким образом, чистый песок удовлетворял по содержанию органических примесей требованиям ГОСТ 8736-77.

Цвет раствора над песком с органическими примесями был темно-коричневым. Этот раствор отделялся от песка путем фильтрации.

Далее используется выражение "кратность содержания органических примесей", т.е. кратность допускаемого эталоном содержания органических примесей в песке, которая определялась колориметрическим методом, путем добавления окрашенного раствора к 3-процентному раствору NaOH до получения цвета эталона. Отношение общего количества исходного окрашенного раствора к его количеству, добавленному к раствору NaOH , и дает кратность содержания органических примесей в песке в сравнении с эталоном. Этим же методом определялась кратность содержания органических примесей в песчаных смесях, в которых к чистому песку добавлялось 10, 20, 30...90 % песка с органическими примесями. В ходе определений и сравнений выяснилось, что исследуемый песок с органическими примесями содержит в 48 раз больше органических примесей, чем это предельно допускается по ГОСТу 8736-77.

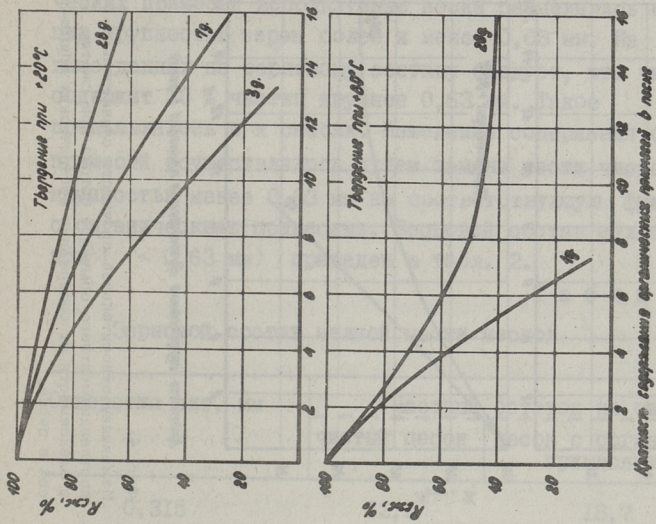
Т а б л и ц а I
Физико-механические показатели использованных песков

Гранулометрический состав			Модуль крупности, M_K	Объемная на- сыпная масса, кг/м^3
Отверстия сит, мм	Остаток на сите, частный	полный		
Чистый песок				
2,5	1,6	1,6	2,14	1490
1,25	8,0	9,6		
0,63	20,4	30,0		
0,315	43,8	73,8		
0,14	25,0	98,8		
<0,14	1,2			
Песок с органическими примесями				
2,5	0,1	0,1	1,22	1385
1,25	0,6	0,7		
0,63	2,2	2,9		
0,315	18,1	21,0		
0,14	75,9	96,9		
<0,14	3,1			



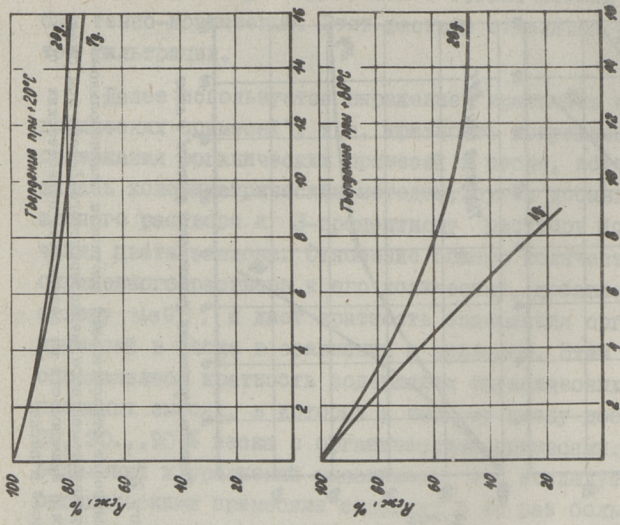
Фиг. 1.

Изменение относительной прочности поргланцементного мелкозернистого бетона при сжатии в зависимости от содержания органических примесей в песке.



Фиг. 2.

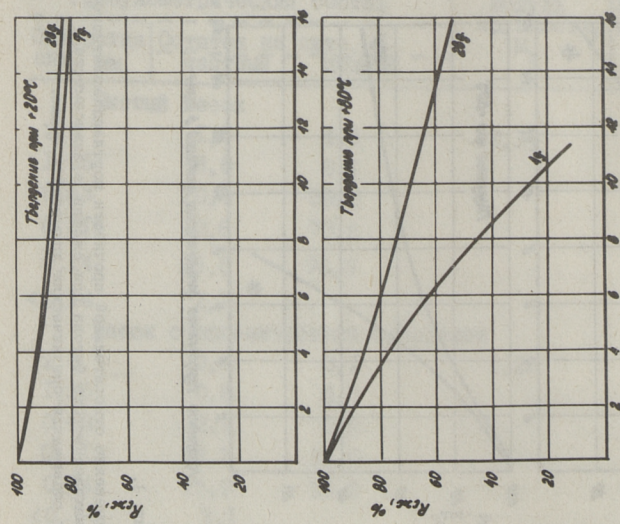
Изменение относительной прочности сланцеольно-поргланцементного мелкозернистого бетона при сжатии в зависимости от содержания органических примесей в песке.



Кривые содержания органических примесей в бетоне

Фиг. 4.

Изменение относительной прочности сланцеольно-портландцементного обычного бетона при сжатии в зависимости от содержания органических примесей в песке.



Кривые содержания органических примесей в бетоне

Фиг. 3.

Изменение относительной прочности портландцементного обычного бетона при сжатии в зависимости от содержания органических примесей в песке.

Для получения ряда песков с разным содержанием органических примесей используемые пески разделялись на две фракции крупностью зерен более и менее 0,63 мм. Из приведенных выше данных по зерновому составу следует, что чистый песок содержит 30 % частиц крупнее 0,63 мм. Такое требование предъявлялось и к смесям. Изменение содержания органических примесей осуществлялось путем замены части чистого песка крупностью менее 0,63 мм на соответствующую фракцию песка с органическими примесями. Зерновой состав мелкой части песков ($< 0,63$ мм) приведен в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Зерновой состав мелкой части песков

Отверстия сит, мм	Частный остаток на сите, %	
	чистый песок	песок с органическими примесями
0,315	62,5	18,7
0,14	35,8	78,1
$< 0,14$	1,7	3,2

Из приведенного видно, что фракция чистого песка крупностью $< 0,63$ мм ($M_K = 1,61$) значительно крупнее соответствующей фракции песка с органическими примесями ($M_K = 1,16$). Таким образом, при замене фракции $< 0,63$ мм чистого песка на соответствующую фракцию песка с органическими примесями крупность зерен в смеси уменьшается.

В качестве вяжущего использовались следующие цементы, изготовленные заводом "Пунане Кунда": портландцемент (Щ) марки "400", содержащий добавку кварцевого песка и трепела в количестве до 15 %, и сланцезольный портландцемент (СЩ) марки "500", содержащий добавку мельчайшей фракции летучей сланцевой золы в количестве до 25 %.

Удельная поверхность портландцемента составляла $3600 \text{ см}^2/\text{г}$, а содержание SO_3 - 3,1 %; у сланцезольного портландцемента эти показатели были соответственно равны $2900 \text{ см}^2/\text{г}$ и 3,4 %. Более высокая удельная поверхность портландцемента обусловлена добавкой трепела; тонкость помола клинкерной части у этих цементов практически одинакова.

При изготовлении бетонов использовался гранитный щебень фракции 5-20 мм марки "600" из карьера Падисе. Щебень рассеивался на фракции 3,0-10 и 10-20 мм, которые использовались в бетоне в естественном соотношении:

фракция 3,0-10 мм 35 %;

фракция 10-20 мм 65 %.

Для определения влияния содержания органических примесей в песке на кинетику твердения бетона изготавливались мелкозернистые бетоны состава 1:3 (цемент:песок) и обычные бетоны состава 1:1,86:3,43 (цемент:песок:щебень).

Изготовление мелкозернистых бетонов проводилось в соответствии с требованиями ГОСТ 310-76. Подвижность мелкозернистых бетонов, определяемая по распылу конуса на встряхивающем столике, при использовании чистого песка принималась в пределах 130-140 мм. При использовании портландцемента необходимое водоцементное отношение составляло 0,50 и состав мелкозернистого бетона по массе на 1 м^3 был равен 490:1465:245 кг/м^3 (цемент:песок:вода). Сланцезольный портландцемент удовлетворяет требованиям к пластифицированным цементам, благодаря чему для обеспечения той же подвижности смесей необходимое водоцементное отношение составляло 0,45 и состав мелкозернистого бетона по массе был равен 495:1485:220 кг/м^3 . Состав обычного бетона на портландцементе - 1:1,86:3,43:0,55 (цемент:песок:щебень:вода) или по массе - 355:660:1210:195 кг/м^3 , а на сланцезольном портландцементе - 1:1,86:3,43:0,48 или по массе - 360:667:1230:173 кг/м^3 . Подвижность смесей оценивалась путем определения осадки стандартного конуса ОК и принималась в пределах 4...5 см при использовании обоих видов цемента.

Бетоны твердели в нормальных условиях и при пропаривании (+80 °С) по режиму 2+3+6+2 часа. Распалубка образцов, твердевших в нормальных условиях, проводилась с учетом прочности образцов при сжатии. Распалубка начиналась в возрасте одних суток и доходила до семи суток. Дальнейшее твердение мелкозернистых бетонов протекало в воде при +20 °С, а обычных бетонов - во влажной среде. Образцы мелкозернистого бетона испытывались на сжатие в возрасте 3, 7 и 28 суток, а из обычного бетона - в возрасте 7 и 28 суток.

Пропаренные образцы испытывались на прочность в возрасте одних суток и после 28 суток твердения во влажных условиях.

Эффективность пропаривания оценивалась коэффициентами K_1 и K_2 , которые вычислялись по формулам:

$$K_1 = \frac{R_1^n}{R_{28}^n} \quad \text{и} \quad K_2 = \frac{R_{28}^n}{R_{28}^n}$$

где R_{28}^n — прочность при сжатии образцов на чистом песке в возрасте 28 суток после твердения в нормальных условиях;

R_1^n, R_{28}^n — прочность при сжатии пропаренных образцов соответственно в возрасте I и 28 суток.

При изготовлении мелкозернистого бетона добавка песка с органическими примесями к чистому песку изменялась от 4 до 35 %, что обеспечило увеличение содержания органических примесей в песке до 16 раз в сравнении с допустимым. При увеличении содержания органических примесей в песке подвижность мелкозернистых бетонов возрастала, несмотря на то, что крупность песка уменьшалась от $M_K = 2,14$ до $M_K = 1,82$, чему обычно сопутствует уменьшение подвижности. Таким образом, увеличение подвижности в данном случае было обусловлено содержащимися в песке органическими соединениями, обладающими в определенной мере свойствами поверхностно-активных веществ.

В таблице 3 приведены прочностные показатели мелкозернистых ПЦ и СПЦ бетонов, изготовленных на чистом песке, при твердении в нормальных условиях и при пропаривании.

Т а б л и ц а 3

Прочность при сжатии мелкозернистых ПЦ и СПЦ бетонов на чистом песке

Наименование цемента	Прочность при сжатии, кгс/см ²				
	при нормальных условиях твердения, в возрасте, сут.			при пропаривании в возрасте, сут.	
	3	7	28	I	28
ПЦ	178	274	402	206	342
СПЦ	282	365	496	285	452

Прочность, необходимая для распалубки без повреждения образцов из мелкозернистого бетона, твердевших в нормальных условиях, достигалась при кратности содержания органических примесей в песке 2...4 в возрасте одних суток при кратности 6, 9 и 16 соответственно в возрасте 2, 3 и 7 суток. Следует обратить внимание на тот факт, что под влиянием органических примесей в определенный период твердения цемента не происходило и прочности не образовывалось. Так, например, мелкозернистый бетон на основе песка с 9-кратным содержанием органических примесей по прошествии 48 часов был совершенно мягким, однако в возрасте 3 суток уже имел прочность при сжатии 103 кгс/см^2 . Таким образом, содержание органических примесей оказывает существенное влияние на схватывание и ход твердения цементного камня.

На фиг. 1 приведено изменение прочности мелкозернистых III бетонов при сжатии в процентах, взятое по отношению к мелкозернистому бетону на чистом песке, в зависимости от содержания в песке органических примесей. Как видно из фигуры, при твердении в нормальных условиях и содержании органических примесей в песке до 6-кратного, прочность при сжатии в возрасте 3 суток падает на 22 %, в возрасте 7 суток — на 15 % и в возрасте 28 суток — на 8 %. Полученные результаты показывают, что в этих пределах содержаний органических примесей скорость твердения существенно понижается, однако в конечном итоге, в возрасте 28 суток, потеря прочности незначительна.

Рассматривая у пропаренных при 80°C мелкозернистых III бетонов ту же область, что и в нормальных условиях, т.е. до 6-кратного содержания органических примесей в песке, выясняется, что после пропаривания в возрасте одних суток падение прочности в сравнении с использованием чистого песка составляет 60 %. При дальнейшем увеличении содержания органических примесей в песке мелкозернистый бетон после пропаривания практически не имеет прочности. При последующем твердении к возрасту 28 суток мелкозернистый бетон, изготовленный на основе песка с 16-кратным содержанием органических примесей, достиг лишь $\sim 50\%$ от прочности мелкозернистого бетона на чистом песке.

Результаты испытания мелкозернистых бетонов, изготовленных на основе высокомарочного СПЦ (марка "500"), приведены на фиг. 2. Из приведенных данных видно, что при малой кратности содержания органических примесей в песке при твердении в нормальных условиях прочности у СПЦ бетона и ПЦ бетона существенно не различаются. При кратности же более 4 СПЦ оказывается более требовательным в отношении чистоты песка. В то время как при использовании ПЦ прочность на сжатие при твердении в нормальных условиях в возрасте 3 суток на песке с 6-кратным содержанием органических примесей понизилась на 22 %, в случае СПЦ такой же показатель был получен уже при 5-кратном содержании органических примесей в песке. При твердении до 28 суток и использовании песка с 16-кратным содержанием органических примесей прочность при сжатии в сравнении с использованием чистого песка понизилась на 37 %, в то время, как при использовании ПЦ эта величина составляла 22 %. Падение прочности пропаренных СПЦ бетонов в 1,2 раза больше, чем у ПЦ бетона как в возрасте одних суток, так и в возрасте 28 суток.

Данные, характеризующие эффективность пропаривания мелкозернистых ПЦ и СПЦ бетонов, приведены в таблице 4.

Т а б л и ц а 4

Эффективность пропаривания мелкозернистых
ПЦ и СПЦ бетонов

Кратность содержания органических примесей в песке	Эффективность пропаривания			
	мелкозернистый ПЦ бетон		мелкозернистый СПЦ бетон	
	K_1	K_2	K_1	K_2
-	0,51	0,85	0,58	0,91
2	0,44	0,77	0,47	0,79
4	0,35	0,66	0,33	0,66
6	0,21	0,59	0,17	0,54
9	0	0,51	0	0,43
16	0	0,41	0	0,37

Из приведенных данных видно, что коэффициенты эффективности пропаривания K_1 и K_2 с увеличением содержания органических примесей в песке уменьшаются.

нических примесей в песке уменьшаются. При превышении допустимого содержания органических примесей более шести раз мелкозернистый бетон после пропаривания практически прочности не имеет.

Рассмотрим теперь поведение цементов в обычных бетонах. В таблице 5 приведены прочностные показатели обычных ПЦ и СПЦ бетонов, изготовленных на чистом песке, при твердении в нормальных условиях и при пропаривании.

Т а б л и ц а 5

Прочность при сжатии обычных ПЦ и СПЦ бетонов
на чистом песке

Наименование цемента	Прочность при сжатии, кгс/см ²			
	при твердении в нормальных условиях в возрасте, сут.		при пропаривании в возрасте, сут.	
	7	28	I	28
ПЦ	222	346	187	306
СПЦ	328	452	324	451

Изменение прочности при сжатии обычных ПЦ бетонов по отношению к прочности бетонов на чистом песке представлено на фиг. 3. При сравнении приведенных результатов с данными для мелкозернистого бетона (см. фиг. 1), выясняется, что при твердении в нормальных условиях падение прочности при сжатии у обычного бетона в возрасте 7 суток меньше, а в возрасте 28 суток оно существенно не отличается. Потеря прочности при сжатии в возрасте одних суток после пропаривания в зависимости от содержания органических примесей в песке у обычного бетона в I, I-I,7 раза меньше, чем у мелкозернистого бетона, а в возрасте 28 суток после пропаривания примерно в I,2 раза меньше. Такое изменение прочности при сжатии после пропаривания можно объяснить уменьшением соотношения расходов песка и цемента в бетоне в I,6I раза в сравнении с мелкозернистым бетоном. Из этого вытекает, что влияние органических примесей песка можно в известной степени компенсировать изменением соотношения цемента и песка за счет увеличения расхода цемента.

На фиг. 4 приведен ход твердения обычного бетона на СПЦ в нормальных условиях и при пропаривании в зависимости от содержания органических примесей в песке. Выясняется, что консистенция смесей на СПЦ меняется значительно меньше, чем в случае использования ПЦ. Это обусловлено наличием пластифицирующих свойств у самого СПЦ.

Из фиг. 4 следует, что в сравнении с ПЦ бетоном падение прочности при сжатии у СПЦ бетона более значительно, особенно после пропаривания. В сравнении с мелкозернистым бетоном в нормальных условиях твердения прочности бетонов при кратности органических примесей в песке до 6 существенно не различаются. При большей кратности падение прочности у обычных бетонов становится меньшим: так, например, при содержании органических примесей в 16 раз больше допустимого в возрасте 7 суток прочность снижается в 1,7 раза и в возрасте 28 суток — в 2,9 раза меньше.

При сравнении с мелкозернистым СПЦ бетоном выясняется, что при пропаривании падение прочности из-за наличия органических примесей в песке у обычных СПЦ бетонов примерно в 1,2 раза меньше, а при нормальном же твердении прочности существенно различаются при большой кратности содержания органических примесей. В таблице 6 приведены данные, характеризующие эффективность пропаривания ПЦ и СПЦ бетонов.

Т а б л и ц а 6

Эффективность пропаривания обычных ПЦ и СПЦ бетонов

Кратность содержания органических примесей в песке	Эффективность пропаривания			
	обычный ПЦ бетон		обычный СПЦ бетон	
	k_1	k_2	k_1	k_2
чистый песок	0,54	0,89	0,72	1,00
2	0,48	0,82	0,60	0,90
4	0,41	0,76	0,47	0,78
6	0,34	0,71	0,32	0,68
9	0,19	0,62	0,11	0,56
16	0	0,52	0	0,47

Из таблицы видно, что при использовании песка с органическими примесями эффективность пропаривания обычных бетонов также зависит от вида цемента.

Повышение содержания органических примесей в песке в сравнении с эталоном на единицу до кратности 10 вызывает понижение коэффициента эффективности пропаривания k_1 при использовании портландцемента на 0,03 и при использовании сланцезольного портландцемента на 0,06. В тех же условиях коэффициент эффективности пропаривания k_2 снижается при использовании портландцемента на 0,03 и при использовании сланцезольного портландцемента на 0,05.

В ы в о д ы

Для оценки возможности использования песка в бетонах в качестве мелкого заполнителя необходимо определять кратность содержания в нем органических примесей в сравнении с допуском по ГОСТ 8736-77 при помощи колориметрического анализа.

Если при использовании песка из карьера Мяннику, содержащего органические примеси, считать допустимым снижение прочности бетона при сжатии на 10 %, то в мелкозернистом бетоне на портландцементе при нормальном твердении можно использовать песок с 4-кратным и в обычном бетоне — с 6-кратным содержанием органических примесей; при пропаривании в мелкозернистом бетоне можно использовать песок с 1,5-кратным и в обычных бетонах — с 2-кратным содержанием органических примесей.

При использовании сланцезольного портландцемента в тех же условиях можно при нормальном твердении в мелкозернистом бетоне использовать песок с 3-кратным и в обычном бетоне — с 4-кратным содержанием органических примесей. В пропаренных сланцезольно-портландцементных бетонах содержание органических примесей в песке не должно превышать уровня, предусмотренного ГОСТ 8736-77.

On the Influence of the Sand Organic Compounds
Content on the Hardening-Process of Concrete

Summary

The article observes the influence of organic compounds in sand on the strength properties of concrete hardening in normal and hydrothermal conditions and is based on factory produced Portland cement and oil shale ash Portland cement.

According to the results the content of organic compounds in the sand substantially influences the kinetics of hardening and the strength of hardened cement-paste. The influence is greater when using the oil shale ash Portland cement and on the occasion of hydrothermal hardening of cement building materials.

ВЛИЯНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ В ПЕСКЕ
НА КИНЕТИКУ ТВЕРДЕНИЯ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОНОВ
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВИДА ЦЕМЕНТА

Для выявления влияния органических примесей в песке на кинетику твердения мелкозернистых бетонов использовались разные виды цемента, изготовленные в лабораторных условиях. При этом использовался цементный клинкер завода "Пунане Кунда" следующего состава: $C_3S = 59\%$, $C_2S = 17\%$, $C_3A = 7\%$, $C_4AF = 12\%$, $SO_3 = 0,6\%$, $R_2O = 0,7\%$. Клинкер предварительно размалывался, после чего вводились предусмотренные добавки и цементы дополнительно размалывались в шаровой мельнице в течение одинакового времени с таким расчетом, чтобы удельная поверхность клинкерной части у всех цементов составляла $3000 \text{ см}^2/\text{г}$. В качестве добавок использовались трепел, кушвинский шлак и мельчайшая фракция летучей золы сланца-кукерсита с Прибалтийской ГРЭС. Химический состав этих добавок приведен в таблице I.

В портландцемент и шлакопортландцемент кроме указанных добавок вводился гипс с таким расчетом, чтобы содержание SO_3 в цементах составляло $3,0\%$. Состав и удельная поверхность изготовленных цементов приведены в таблице 2.

В качестве заполнителя в мелкозернистом бетоне использовались два вида песка, которые в зависимости от содержания органических примесей назывались: песок с органическими примесями и чистый песок. Содержание органических примесей в песке определялось колориметрическим методом в соответствии с ГОСТ 8735-75 с использованием 3-процентного раствора $NaOH$. Путем добавления песка с органическими примесями к чистому песку в количестве от 4 до 35% изготавливались 5 видов песка с содержанием органических при-

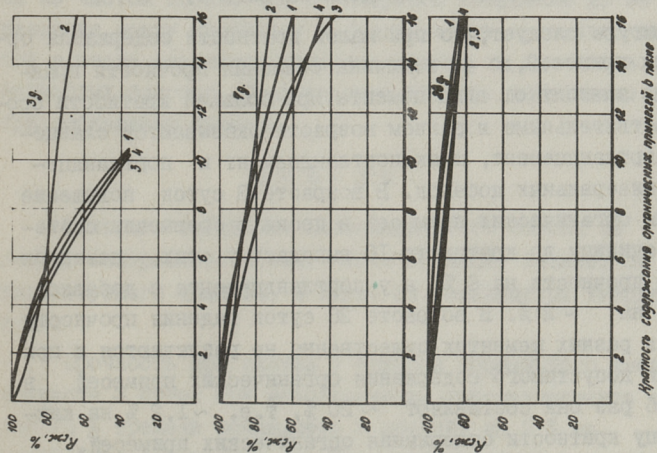
месей до 16 раз превышающем предельно допустимое. Далее используется выражение "кратность содержания органических примесей", т.е. кратность содержания органических примесей в песке в сравнении с эталоном, которая определялась колориметрическим методом путем добавления окрашенного раствора над песком с органическими примесями в 3-процентный раствор NaOH до получения цвета эталона.

Т а б л и ц а 1
Химический состав добавок к цементу

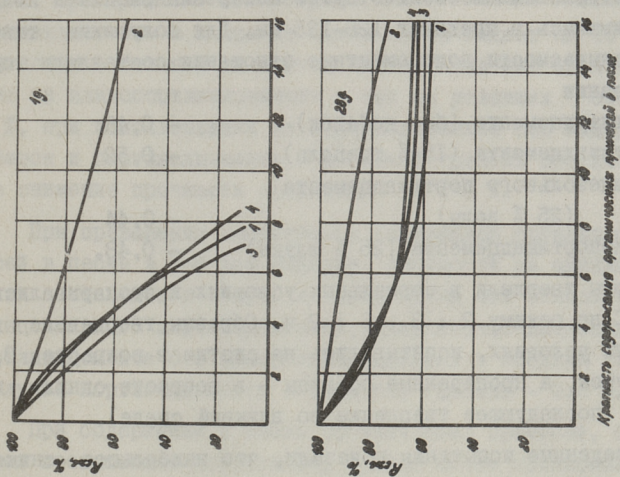
Соединения	Содержание соединений, %	
	кушвинский шлак	мельчайшая фракция летучей золы
SiO ₂	36,3	33,7
Al ₂ O ₃	16,9	10,1
Fe ₂ O ₃	0,5	4,5
CaO	40,3	32,3
MgO	4,9	3,5
SO ₃	0,5	9,6
S ⁻	0,7	-
MnO	0,1	-
R ₂ O	-	5,0
CO ₂	-	1,5

Т а б л и ц а 2

Обозначение цемента	Наименование цемента	Удельная поверхность, см ² /г
1.	Портландцемент (без минеральных добавок)	3140
2.	Портландцемент (содержит 15 % трепела)	4370
3.	Сланцезольный портландцемент (25 % золы)	3320
4.	Шлакопортландцемент (содержит 25 % шлака)	3080



Фиг. 1. Влияние содержания органических примесей в песке на относительную прочность цементных мелкозернистых бетонов нормального твердения при сжатии. Цифры обозначают номер цемента в таблице 2.



Фиг. 2. Влияние содержания органических примесей в песке на относительную прочность пропаренных цементных мелкозернистых бетонов при сжатии. Цифры обозначают номер цемента в таблице 2.

Мелкозернистые бетоны изготавливались в соответствии с требованиями ГОСТ 310-76. Удобоукладываемость, определяемая на встряхивающем столике путем измерения расплыва конуса, принималась в пределах 125-135 мм. Для получения такой удобоукладываемости водоцементные отношения составляли при использовании

портландцемента (без добавок)	- 0,48
портландцемента (15 % трепела)	- 0,52
сланцезольного портландцемента (25 % золы)	- 0,44
шлакопортландцемента (25 % шлака)	- 0,48.

Бетоны твердели в нормальных условиях и пропаривались при 80 °С по режиму 2 + 3 + 6 + 2 ч. Образцы, твердевшие в нормальных условиях, испытывались на сжатие в возрасте 3, 7 и 28 суток, а пропаренные образцы - в возрасте одних и 28 суток (последующее твердение во влажной среде).

Проведенные испытания показали, что наибольшее снижение прочности отмечается в ранние сроки твердения. С увеличением возраста образцов повышение содержания органических примесей в песке вызывает меньшее понижение прочности. Данные об изменении прочности при сжатии мелкозернистых бетонов нормального твердения в зависимости от содержания органических примесей в песке приведены на фиг. 1.

Из фигуры следует, что при малой кратности содержания органических примесей, до 4, величина снижения прочности практически не зависит от вида цемента. При большей кратности особенно чувствительными в раннем возрасте оказываются сланцезольный портландцемент, шлакопортландцемент и портландцемент без минеральных добавок. В возрасте 3 суток повышение содержания органических примесей в песке в сравнении с эталоном на единицу до кратности 10 вызывает у этих цементов понижение прочности на 6 %, а у портландцемента с добавкой трепела - на ~ 2 %. В возрасте 28 суток падения прочности бетонов на разных цементах существенно не различаются и при превышении допустимого содержания органических примесей в песке в 16 раз они составляют ~ 20 %, т.е. ~ 1,2 % на каждую единицу кратности содержания органических примесей.

Изменение прочностных показателей пропаренных мелкозернистых бетонов в зависимости от содержания органических при-

месей в песке приведено на фиг. 2. При превышении допустимого содержания органических примесей в 2 раза прочность при сжатии пропаренного мелкозернистого бетона на сланцезольном портландцементе в возрасте одних суток падает на 20 % в сравнении с бетоном на чистом песке. Снижение прочности бетона на шлакопортландцементе в тех же условиях составляет 16 %, при использовании же портландцемента без минеральных добавок и портландцемента с добавкой трепела соответствующее снижение прочности составляет 14 и 6 %.

При превышении допустимого содержания органических примесей в песке в 7-8 раз падение прочности на единицу кратности составляет в возрасте одних суток при использовании сланцезольного портландцемента, шлакопортландцемента и портландцемента без минеральных добавок в среднем 12 %, а в случае портландцемента с добавкой трепела - 2,5 %.

При содержании в песке органических примесей, более 7-8 раз превышающем допустимое, бетоны после пропаривания практически не имеют прочности, за исключением лишь портландцемента с добавкой трепела. При содержании органических примесей, в 16 раз превышающем допустимое, бетон на портландцементе с добавкой трепела после пропаривания еще имеет 55 % от прочности при сжатии мелкозернистого бетона на чистом песке. При последующем твердении до 28 суток различия между цементами и содержаниями органических примесей в песке оказывают меньшее влияние на прочность мелкозернистых бетонов. Сравнительно высокие показатели получены при добавлении трепела.

В ы в о д ы

Кинетика твердения мелкозернистого бетона на основе песка, содержащего органические примеси, зависит от вида используемого цемента, а также от температуры твердения бетона.

Прочность при сжатии у бетонов нормального твердения в возрасте 3 суток при использовании портландцемента с добавкой 15 % трепела понижалась в среднем на 2 % на единицу увеличения содержания органических примесей в песке в сравнении с эталоном до кратности 16. При использовании в бетоне бездобавочного, сланцезольного или шлакового портландце-

мента прочность в аналогичных условиях до кратности 10 уменьшалась в среднем на 6 % на единицу кратности содержания органических примесей в песке.

Прочности при сжатии у бетонов на различных цементах в возрасте 28 суток существенно не различались. Снижение прочности в этом случае составляло I-I,5 % на единицу кратности содержания в песке органических примесей до кратности 16.

Пропаренные бетоны в возрасте одних суток при использовании портландцемента с добавкой трепела показали снижение прочности при сжатии в среднем на 2,5 %, а на основе других цементов - в среднем на 12 % на единицу кратности содержания в песке органических примесей до кратности 7-8.

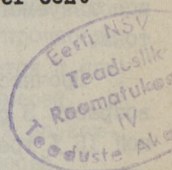
M. Rosenberg, A. Hain

The Influence of the Sand Organic Compounds Content
on the Kinetics of Hardening of Fine-Grained Concrete
Depending on Kinds of Cement

Summary

The paper examines the influence of organic compounds in sand on the kinetics of hardening of fine-grained concrete based on Portland cement without mineral additions. Portland cement with rottenstone, oil shale ash Portland cement and slag Portland cement.

The results of the tests show that the influence of organic compounds on the kinetics of hardening of cement-paste is determined by the kind of the cement. The influence is smallest when using Portland cement with a 15 per cent of rottenstone addition.





Цена 55 коп.