

Х. А. РЕММА

**МЕХАНИЧЕСКАЯ АКТИВАЦИЯ
СЛАНЦЕЗОЛЬНО-ПЕСЧАНЫХ
СМЕСЕЙ**

ИЗДАТЕЛЬСТВО
ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА
ТАЛЛИН, 1958

Ep. 6.

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED
ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

Серия А

№ 144

1958

Х. А. ПЕММА

МЕХАНИЧЕСКАЯ АКТИВАЦИЯ
СЛАНЦЕЗОЛЬНО-ПЕСЧАНЫХ
СМЕСЕЙ

Ep. 1573



ИЗДАТЕЛЬСТВО
ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА
ТАЛЛИН, 1958

ВВЕДЕНИЕ

Переход на заводское изготовление бетонных изделий позволяет при обработке вяжущих и бетонов применять различные технологические приемы, использование которых в обычных условиях строек затруднительно. Некоторые из этих приемов оказались особенно эффективными при применении различных местных вяжущих, позволяя более полно раскрыть и использовать вяжущие свойства последних. Таким следует считать и метод механической активации вяжущих.

Сущность этого метода заключается в интенсивном измельчении и **растирании** зерен вяжущего и добавок в присутствии воды, при постоянном перемешивании смеси. В этих условиях на свежих поверхностях зерен вяжущего, по мере его измельчения, начинаются процессы гидратации. Образующиеся на зернах соединения удаляются растиранием, чем обнажаются все новые поверхности, способствующие дальнейшему углублению гидратационных процессов. Таким образом механическими воздействиями достигается более высокая концентрация коллоидного компонента в смеси, что отражается на повышении активности обработанных смесей.

Метод механической активации нашел наибольшее применение при активации каменноугольных шлаков путем мокрой обработки шлаковых смесей бегунами, а также в производстве шлаковых цементов мокрого помола и в других случаях.

В связи с все возрастающим количеством образования сланцевых зол в сланцевом бассейне Эстонской ССР и потребностью их массового применения в качестве вяжущего стало необходимым выяснить влияние и эффективность различных технологических воздействий в процессе переработки и использования этих зол. В частности отсутствовали данные об эффективности применения метода

механической активации для раскрытия вяжущих свойств сланцевой золы. Исходя из этого, автором в 1953 г. были начаты исследования в названном направлении.

Ниже приводятся результаты, полученные при применении метода механической активации в виде мокрой обработки сланцезольно-песчаных смесей бегунами.

1. Постановка опытов

В качестве активируемого материала использовалась уловленная мультициклонами зола пылевидного сжигания горючего сланца (циклонная зола) ТЭЦ № 2 «Эстонэнерго». Мокрая обработка золопесчаных смесей производилась промышленными бегунами. Кривые просеивания принятых песков приведены на рис. 1.

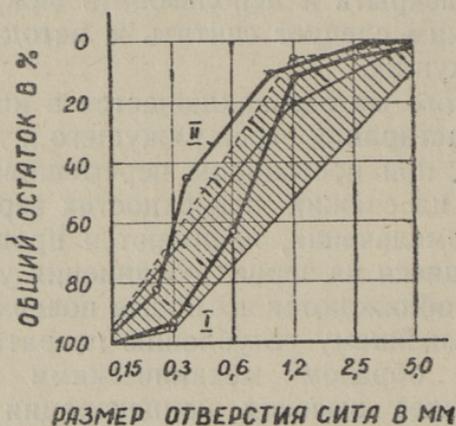


Рис. 1. Кривые просеивания песков.

Свойства активированных смесей исследовались в основном на прессованных образцах $D = H = 60$ мм, изготовленных на специально построенном ручном эксцентриковом прессе. Нормальное давление прессования образцов — 150 кг/см^2 , длительность — 2—3 секунды. После изготовления образцы хранились без форм.

Консистенция смесей. Для обработки бегунами наиболее подходят сравнительно жесткие составы. При определенной пластичности смесь уже не удерживается под бегунами, а отбрасывается ими в сторону. Это снижает расти-

рающее действие бегунов на обрабатываемый материал и обработка приближается к простому перемешиванию. С точки зрения удерживания смеси под бегунами предельное водосодержание золо-песчаных смесей, например составом от 1:3 до 1:4, будет около 13%.

Исходя из этого и имея в виду получение необходимой удобоукладываемости при принятом способе формовки образцов, водосодержание смесей из циклонной золы и песка было опытным путем установлено в значениях приведенных в таблице 1, которыми и руководствовались при дозировке воды в ходе дальнейшей работы.

Водосодержание активированных смесей

Таблица 1

Состав смеси по весу (циклонная зола: песок)	1:3	1:4	1:4,5	1:5	1:6	1:7,5
Водосодержание смеси в % от веса сухого материала	10,0	9,5	9,3	9,1	9,0	8,7
Водо-вяжущее отношение	0,40	0,48	0,51	0,55	0,63	0,74

Отметим, что водосодержание стандартного раствора 1:3 из молотой циклонной золы и песка составляет для жесткою раствора (образцы уплотняются трамбованием) около 7,5%, а для пластичного раствора (образцы уплотняются штыкованием и встряхиванием) около 11%. Принятую консистенцию активированных смесей можно поэтому оценить как малопластичную.

2. Влияние мокрой обработки на прочность золо-песчаного бетона

Для выявления влияния мокрой обработки на прочностные показатели золо-песчаного бетона было выполнено параллельное изготовление смесей 1:3 (циклонная зола:песок) при помощи обыкновенной промышленной растворомешалки и бегунов. Прессованные образцы после суточного предварительного твердения в комнатном воздухе пропаривались в течение 22 часов (4 + 17 + 1) при тем-

пературе $+80 - 85^{\circ}\text{C}$. Показатели прочности на сжатие пропаренных образцов, в зависимости от длительности обработки смесей, указаны на рис. 2.

Как видно, влияние бегунной обработки оказалось весьма значительным. Уже в случае трехминутной мокрой обработки смеси активированный пропаренный песчаный

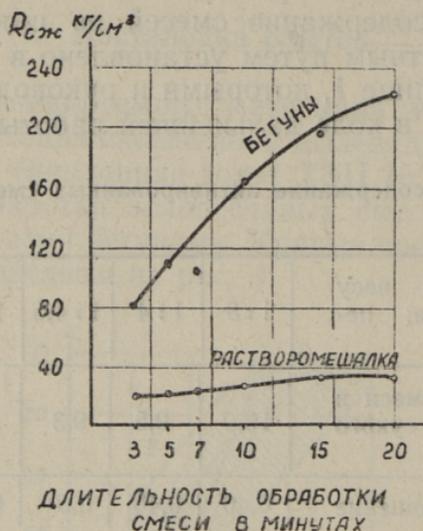


Рис. 2. Прочность золо-песчаного бетона (1:3) в зависимости от способа приготовления смеси.

бетон приобрел прочность примерно в 4 раза более высокую, чем бетон, приготовленный в мешалке. С увеличением длительности обработки наблюдался беспрестанный рост прочности. В то же время удлинение перемешивания смеси в мешалке очень незначительно влияло на свойства бетона.

Показатели прочности приготовленных на бегунах золо-песчаных смесей различного состава приведены в таблице 2. Условия твердения образцов аналогичны первому случаю.

Наилучшие результаты показал состав 1:4,5. Дальнейшее увеличение золосодержания (состав 1:3) привело к некоторому уменьшению прочности. Здесь проявляется влияние объемных приращений циклонной золы в ходе гидротермальной обработки, которые в условиях высокой плотности и значительного золосодержания бетона могут

создавать вредные внутренние напряжения в камне. При более тощих и пористых составах (от 1:7,5 до 1:4,5) влияние объемных приращений вяжущего сказывается в меньшей мере, особенно же при достаточно длительной обработке смеси (свыше 7—10 минут) и с увеличением золосодержания прочность активированного бетона соответственно возрастает.

Прочность активированного пропаренного золо-песчаного бетона различного состава

Т а б л и ц а 2

Длительность мокрой обработки смесей в мин.	Состав смеси по весу (циклонная зола: песок)			
	1:3	1:4,5	1:6	1:7,5
	Прочность на сжатие кг/см ²			
0*)	21	—	—	—
3	81	106	78	74
5	109	126	97	91
7	107	178	133	135
10	164	192	170	149
12	—	228	189	154
15	197	248	202	172
20	222	—	—	—

*) Смесь приготавливалась в растворомешалке; длительность перемешивания 3 мин.

Для оценки стабильности эффекта активации, в разное время и с разными пробами золы, был проведен ряд повторных опытов (состав 1:4,5). Полученные при этом результаты представлены на рис. 3.

Несмотря на ограниченность числа опытов можно заключить, что мокрой обработкой активность золо-песчаных смесей стабилизируется. Если в случае 3-минутной обработки смесей расхождения прочностей от среднего значения достигали до $\pm 25\%$, то при 15-минутной обработке такие расхождения оказывались уже в пределах 10% .

При длительности мокрой обработки в 3, 7 и 15 минут средние показатели прочности на сжатие для активированного бетона составом 1:4,5 оказались соответственно 143, 176 и 228 кг/см².

При сравнении результатов активации различных золо-песчаных смесей выяснилось, что интенсивность активации осталась во всех случаях почти одинаковой и при принятых составах (1:3—1:7,5) мало зависит от состава смеси.

Это характеризуется хорошим совпадением относительных активностей различных смесей. Соответствующие данные о нарастании относительной активности (количество опытов — 7) приводятся в табл. 3, где активность смесей, соответствующая 15-минутной мокрой обработке, приравнена 100%.

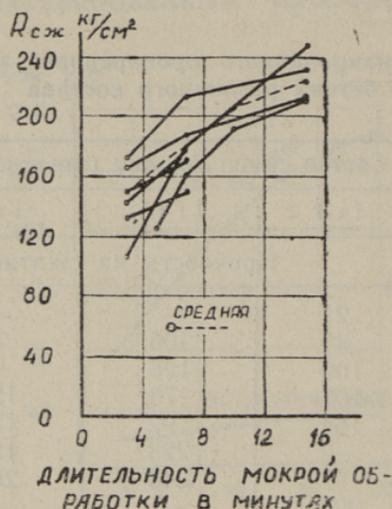


Рис. 3. Прочность активированных смесей составом 1:4,5 (циклонная зола : песок). Длительность пропаривания 22 часа ($t = + 80 - 85^{\circ}\text{C}$).

Нарастание активности смесей по средним данным изображено на рис. 4 кривой I. Можно отметить, что при длительности обработки от 3 до 25 минут нарастание активности оказалось пропорциональным логарифму длительности обработки (рис. 4, кривая II). В первые минуты обработки скорость активации выше.

Интенсивная активация золо-песчаных смесей имеет место в течение первых 10 минут мокрой обработки.

3. Требования к песку, применяемому для приготовления активированных смесей

Кроме требований, обычно предъявляемых к строительным пескам, при бегунной обработке смесей большое значение имеет прочность зерен песка на раздавливание их бегунами.

Интенсивность нарастания активности золо-песчаных смесей при мокрой обработке.

Таблица 3.

Длительность мокрой обработки смесей в мин.	Относительная активность смесей в % %.			Отклонения от среднего	
	Минимальная	Максимальная	Средняя	(-)	(+)
0	5	11	7	2	4
3	39	47	42	3	1
5	48	60	55	7	5
7	66	78	72	6	6
10	77	90	85	8	5
12	90	94	92	2	2
15	100	100	100	—	—
25	104	121	115	11	6

Мокрая обработка бегунами песков (без вяжущего) с последующим их просеиванием показала, что кварцевый песок (песок II) при этом измельчается в очень незначи-

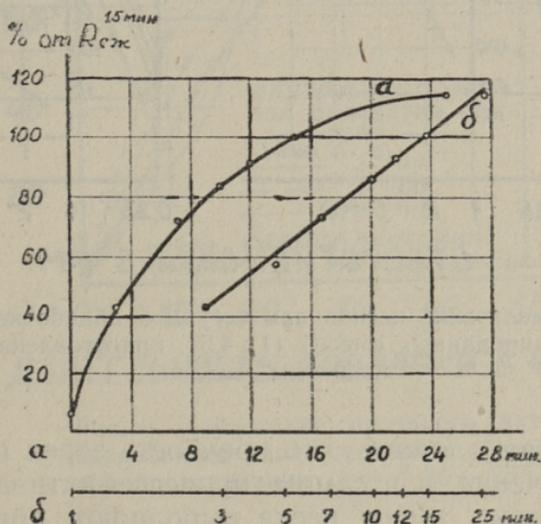


Рис. 4. Нарастание активности золо-песчаных смесей в зависимости от длительности мокрой обработки (кривая а) и от логарифма ее (кривая б). 100% соответствует активности при 15-минутной мокрой обработке.

тельной мере (см. рис. 5-а), в то же время песок IV, крупная часть которого состояла в основном из более слабых минералов (полевой шпат, известняк), заметно измельчался (рис. 5-б). В результате раздавливания слабых зерен значительно увеличилось количество мелкой пыли в песке. Уже после 5-минутной обработки количество частиц, прошедших через сито с отверстиями в 0,25 мм, почти удвоилось (с 12,2% на 23,4%). Происходящее в результате этого ослабление песчаного скелета бетона отрицательно отражается на прочности активированного песчаного бетона (см. рис. 5).

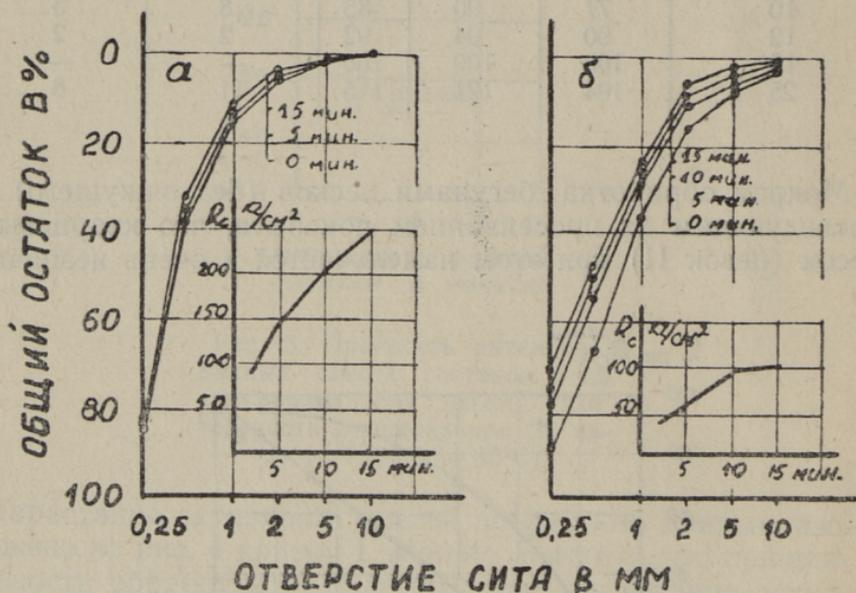


Рис. 5. Измельчение песков при бегунной обработке и прочность активированных смесей (1 : 4,5), приготовленных на основе этих песков.

Можно предположить, что прочность зерен песка имеет важное значение и в самом процессе активации вяжущего, поскольку зерна песка выполняют при измельчении и растирании золы роль мелющих тел. Слабые частицы песка, сами превращающиеся в ходе обработки в пыль, никак не могут выполнять такую функцию.

Ранее описанные результаты активации золо-песчаных смесей относятся к случаю применения кварцевых песков. Заметная активация этих смесей при бегунной обработке

не может быть рассмотрена как следствие улучшения зернового состава песка, — который, как выяснилось, почти не изменился за время обработки, — а как результат активации вяжущего — циклонной золы.

4. Твердение активированного золо-песчаного бетона при гидротермальной обработке

Наращение прочности активированного бетона в зависимости от длительности пропаривания (при $t=80-85^{\circ}\text{C}$) показано на рис. 6. На рисунок нанесена также кривая твердения гидравлического кукермита (молотой циклонной золы) по данным В. Кикас [2].

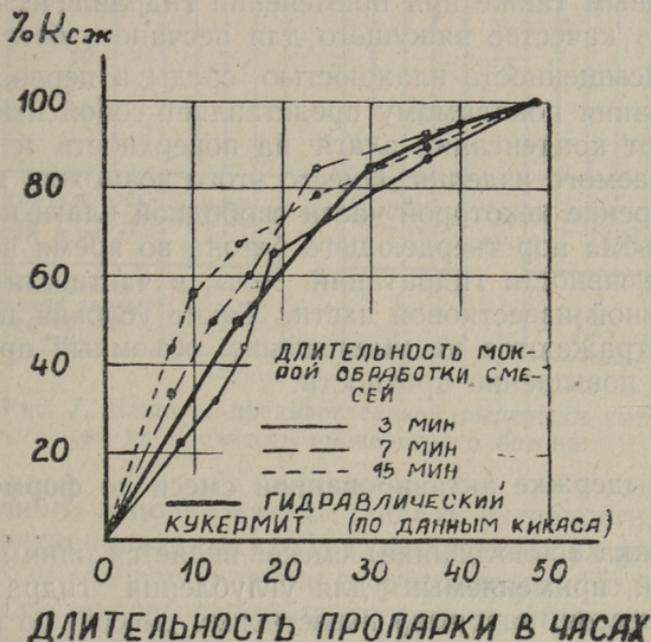


Рис. 6. Нарастание прочности активированного золо-песчаного бетона при пропаривании ($t = +80-85^{\circ}\text{C}$).

Скорость твердения активированной циклонной золы при пропаривании оказалась близкой к скорости твердения гидравлического кукермита. С удлинением мокрой обработки смеси повышается и скорость ее твердения. Интенсивное нарастание прочности происходит на протя-

жении первых 24-х часов пропаривания. За это время достигается 75—85% от прочности, соответствующей длительности пропаривания в 48 часов.

Сравнение различных влажностных режимов пропаривания показало, что в случае пропаривания изделий без форм для активированного золо-песчаного бетона желательно применять «двухступенчатое» пропаривание: первый этап пропаривания — подъем температуры в условиях среды пониженной влажности, а второй этап — изотермическое пропаривание в условиях среды насыщенной влажности. При таком режиме прочность получается примерно на 40% выше, чем при обычном режиме, где весь цикл пропаривания проходит в условиях насыщенной влажности. «Двухступенчатое» пропаривание оказалось эффективным также при применении гидравлического кукурмита в качестве вяжущего для песчаного бетона.

Недонасыщенность влажностью среды в первое время пропаривания по видимому представляет собой известную защиту от конденсаций влаги на поверхность и в поры пропариваемого изделия. Вместо этого возможно медленное выпарение некоторой части свободной влаги и увеличение объема пор твердеющего бетона во время повышения интенсивности гидратаций золы, в частности ее менее активной известковой части. Такие условия положительно отражаются на уменьшение объемных приращений и на повышение прочности.

5. О выдержке активированной смеси до формовки

Выдержка (силосование) смесей является одним из мероприятий, применяемых для углубления гидратационных процессов, например известковых смесей, до их употребления. Положительный эффект отмечен также в случае выдержки раствора на циклонной золе.

Влияние выдержки смеси на прочность пропаренного активированного золо-песчаного бетона иллюстрируется рисунком 7. Показатели прочности определились на пресованных образцах равной плотности, независимо от времени выдержки смесей.

Некоторое положительное влияние выдержки отмечалось только в случае небольшой продолжительности об-

работки смеси (3 мин.). При более интенсивной обработке (7 мин., 15 мин) уже сравнительно непродолжительная выдержка (45—60 мин.) сопровождается снижением активности смеси примерно на 10—15%.

Следовательно, в случае активированных золо-песчаных смесей выдержка их не может быть рассмотрена как дополнительное мероприятие, направленное на углубление предварительной гидратации циклонной золы. Для

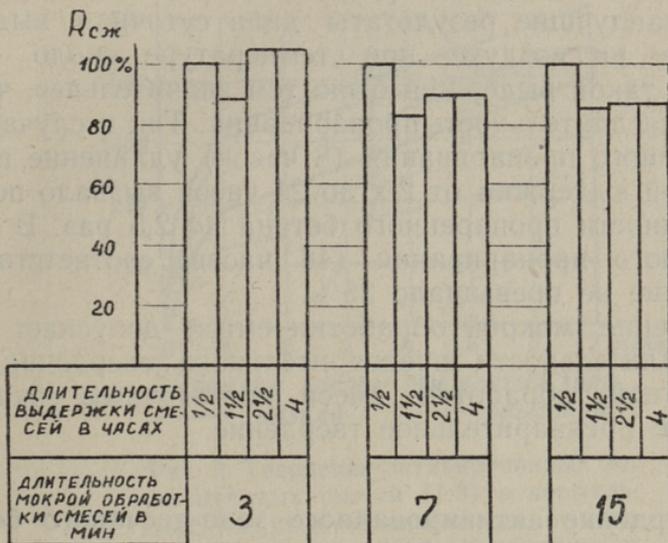


Рис. 7. Влияние предварительной выдержки смесей на прочность пропаренного бетона.

более полного использования запасов активности, имеющихся у активированных смесей, желательна их формовка в течение 20—30 минут после приготовления. Получаемое в таком случае повышение прочности, по мнению автора, можно связать с проявлением эффекта гидратационного твердения части свободной извести золы, как это в известных условиях наблюдается при твердении молотой негашеной извести [1]. Способность к такому твердению может проявить более активная часть извести, гидратирующаяся в течение интенсивной мокрой обработки и некоторое время после нее. Схватывание и кристаллизация этой части извести в отформованном изделии может сообщить последнему некоторую дополнительную начальную прочность.

6. Предварительное твердение до гидротермальной обработки

Если выдержка активированных смесей, как правило, отражалась на прочность пропаренного золо-песчаного бетона отрицательно, то выдержка (предварительное твердение) отформованных изделий до пропаривания их без форм значительно повышает эффективность пропаривания.

При длительности мокрой обработки смеси от 3 до 7 минут наилучшие результаты дала суточная выдержка образцов на воздухе, при температуре около $+15^{\circ}\text{C}$. Влияние такой выдержки было тем значительнее, чем короче была длительность пропаривания. Так в случае кратковременного пропаривания (8 часов) удлинение предварительной выдержки от 2-х до 24 часов вызвало повышение прочности пропаренного бетона до 2,5 раз. В случае длительного пропаривания (48 часов) соответствующее повышение не превышало 25%.

Удлинение мокрой обработки смеси допускает сокращение длительности предварительного твердения. При 15-минутной обработке смеси достаточным оказалось 8-часовое предварительное твердение.

7. Твердение активированного золо-песчаного бетона при нормальной температуре

Твердение активированного золо-песчаного бетона составом 1:3 в нормальных условиях (влажный воздух, $t=15-20^{\circ}\text{C}$) характеризуется кривыми на рисунке 8.

Наряду с общей высокой активностью смесей обращает на себя внимание их сравнительно быстрое твердение. Отношение R_7/R_{28} , в зависимости от активности золы и длительности мокрой обработки смесей, имело значения в пределах 0,16—0,56. В качестве средних показателей ряда повторных опытов с длительностью обработки смесей 6, 10 и 15 минут для отношения R_7/R_{28} были получены соответственно значения 0,20, 0,29 и 0,43. Для сравнения отметим, что отношение R_7/R_{28} для гидравлического кукурмита (молотая циклонная зола) при стандартном определении имело значение в случае пластичного раствора (1:3) 0,08—0,13 и в случае жесткого раствора 0,14—0,27 [2].

Приведенные на рис. 8 данные говорят также о более высокой активности и более быстрой активации (при мокрой обработке) золы, полученной при низкой нагрузке котельной установки. Показатели прочности золы, взятой от котла с высокой нагрузкой, оказались более низкими — в среднем на 45% (R_7) и на 33% (R_{28}).

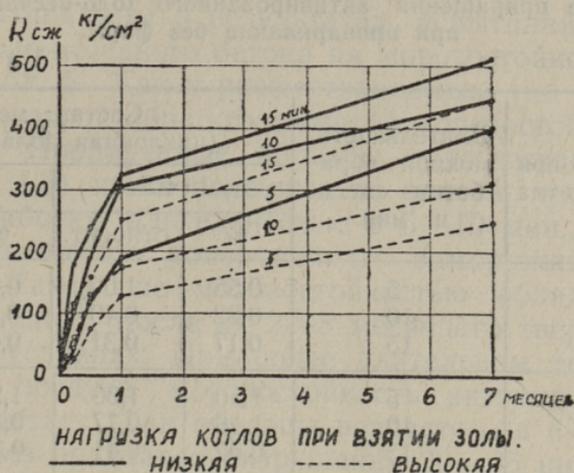


Рис. 8. Твердение активированных золо-песчаных смесей (1:3) в нормальных условиях в зависимости от длительности мокрой обработки.

Активизированный золо-песчаный бетон становится водостойким после 7—14 дневного твердения в нормальных условиях, в зависимости от длительности мокрой обработки смеси (соответственно от 15 до 3 минут).

8. Постоянство объема активированного золо-песчаного бетона

При твердении циклонной золы необходимо учитывать явлениями приращения объема, в основном обусловленные поздней гидратацией малоактивной известковой части золы, что в определенных условиях может привести к снижению прочности бетона или даже к его растрескиванию.

Гидратация некоторой части известки циклонной золы происходит в ходе мокрой обработки смесей, и вместе с

удлинением последней уменьшаются и объемные приращения во время твердения. Соответствующие данные приведены в табл. 4.

При удлинении мокрой обработки от 5 минут до 10 и 15 минут линейные приращения при пропаривании сократились в среднем соответственно в 2 и 3 раза.

Линейные приращения активированного золо-песчаного бетона при пропаривании без форм.

Т а б л и ц а 4.

Зола взята при нагрузке котла	Длительность мокрой обработки смеси в мин.	Состав смеси (циклонная зола: песок)			
		1 : 4,5		1 : 6,0	
		%	относит.	%	относит.
низкой	5	0,55	1,00	0,28	1,00
	10	0,22	0,40	0,12	0,43
	15	0,17	0,31	0,08	0,29
высокой	5	1,50	1,00	1,21	1,00
	10	1,16	0,77	0,42	0,35
	15	0,62	0,41	0,33	0,27

Примечание: Приращения определены по диаметру цилиндрических образцов $D=H=60$ мм.

В случае твердения активированного бетона при нормальной температуре линейные приращения значительно уменьшались и в зависимости от состава смеси и от длительности ее мокрой обработки оставались в пределах 0—0,3%.

С точки зрения обеспечения необходимого постоянства объема для активированного золо-песчаного бетона наиболее благоприятными следует считать условия твердения при нормальной температуре, а также твердение в жестких формах при пропаривании. В последнем случае объемные изменения могут обратиться в фактор дополнительного уплотнения бетона, не вызвав при этом общего объемного приращения его.

Для обеспечения постоянства объема активизированного золо-песчаного бетона при пропаривании изделий без форм требуется применение дополнительных технологических мероприятий, углубляющих и ускоряющих гидратацию золы (известки) до пропаривания. В некоторых случаях (малоразмерные изделия, тощие смеси) может ока-

заться достаточным примерно суточного предварительного твердения изделий на воздухе. В других случаях следует прибегать к применению соответствующих добавок и предварительной обработке золы (см. стр. 18).

9. Морозостойкость

Некоторые примеры о результатах испытаний активированного золо-песчаного бетона на морозостойкость приводятся в табл. 5. Как в рассматриваемых, так и в других случаях мокрой обработки смесей морозостойкость их повышалась. Пропаренные образцы золо-песчаного бетона (1:4—1:4,5) приготовленные из смесей, прошедших мокрую обработку длительностью в 5—10 мин., выдержали 10—15 циклов попеременного замораживания — оттаивания. Такой же морозостойкостью обладали образцы испытанных после их 2—3 месячного твердения в нормальных условиях. При более длительном твердении во влажном воздухе морозостойкость активированного бетона возрастает. Так образцы возрастом в 5 месяцев выдержали без признаков разрушения 20—25 циклов.

Морозостойкость активированного золо-песчаного бетона.

Таблица 5.

№ № пп.	Состав смеси по весу (цикл. зола: песок)	Длительность мокрой обработки смеси в мин.	Условия твердения и возраст образцов в начале замораживания	Морозостойкость						
				Прочность на сжатие кг/см ²			Потери в весе образцов после			
				контрольных образцов	после 20 циклов замораживания	коэффициент морозостойкости	5	10	15	20
							циклов замораживания			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1 : 4,5	5	Во влажн. воздухе (t = 15—18° С) 3 мес.	215	149	0,69	0,1	0,3	1,2	1,3
2		10		224	174	0,78	0,2	0,2	0,5	0,6
3		15		252	210	0,83	0,0	0,0	0,0	0,0
4	1 : 4,5	3	Пропаренные. После пропаривания в комн. воздухе 2 мес.	164	115	0,70	0,0	0,8	2,7	2,7
5		7		181	145	0,80	0,0	0,3	1,4	1,8
6		15		186	170	0,91	0,0	0,0	0,3	0,5

Примечание: 1) Контрольные образцы хранились в течение испытания на морозостойкость в воде комнатной температуры.

2) Испытание образцов на сжатие производилось в насыщенном водой состоянии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. В. О с и н, Негашеная известь как новое вяжущее вещество, Москва, 1954.
2. V. K i k a s, Eesti NSV põlevkivi-kukersiidi tuhk sideainena. Dissertatsioon, Tallinna Polütehniline Instituut, 1954.



Х. А. Ремма

**МЕХАНИЧЕСКАЯ АКТИВАЦИЯ СЛАНЦЕЗОЛЬНО-ПЕСЧАНЫХ
СМЕСЕЙ**

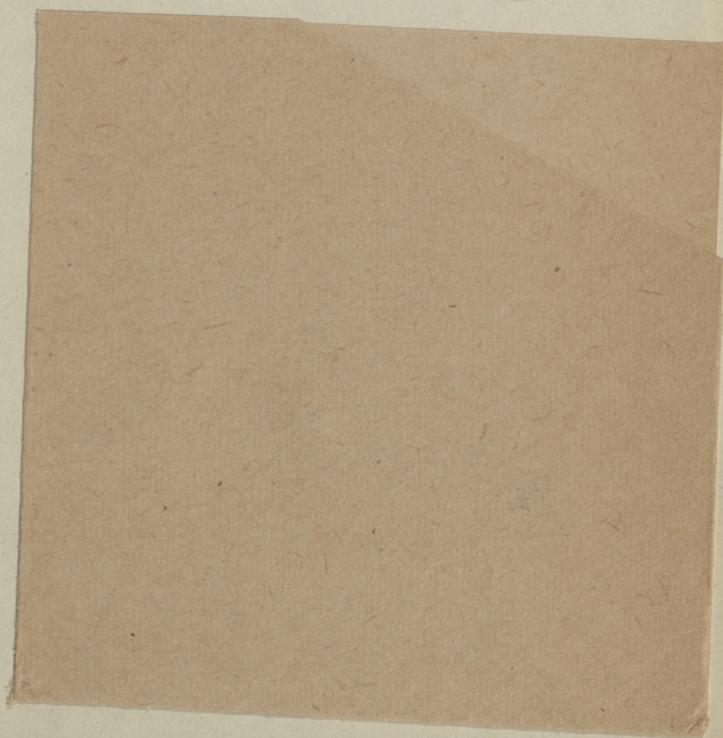
Издательство
Таллинского Политехнического Института

Редактор С. Докелин
Технический редактор А. Тамм
Корректор И. Ауристе

Сдано в набор 28 V 1958. Подписано к печати 27 VI 1958. Бумага
54×84 ¹/₁₆. Печатных листов 1,5. По формату 60×92 печатных листов
1,23. Учетно-издательских листов 0,95. Тираж 800.
МВ-04875. Заказ № 1749

Типография «Юхисэлу», Таллин, ул. Пикк 40/42.

Цена 70 коп.



Цена 70 коп.