

Ep. 6.7

703

ISSN 0136-3549

0203-9710

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOLI

TOIMETISED

**ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**

**TRANSACTIONS OF TALLINN
TECHNICAL UNIVERSITY**

**ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ЗОЛЬНЫХ
ЦЕМЕНТОВ И БЕТОНОВ
НА ИХ ОСНОВЕ**

TALLINN 1989

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOLI
TOIMETISED

TRANSACTIONS OF TALLINN
TECHNICAL UNIVERSITY

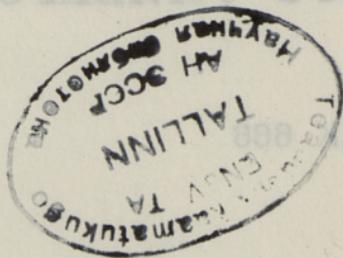
ТРУДЫ ТАЛЛИННСКОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

УДК 666

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ЗОЛЬНЫХ
ЦЕМЕНТОВ И БЕТОНОВ
НА ИХ ОСНОВЕ

Изучение золы сланца-кукерсита ХУП

Под общей редакцией засл. деятеля
науки и техники ЭССР, доктора технических
наук, профессора В.Х. Кикаса



ТАЛЛИННСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Труды ТТУ № 703

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ЗОЛЬНЫХ ЦЕМЕНТОВ И
БЕТОНОВ НА ИХ ОСНОВЕ

Изучение золы сланца-кукерсита ХУИ

На русском языке

Ответственный редактор Л. Микли

Технический редактор Е. Зорина

Сборник утвержден коллегией Трудов ТТУ 15.12.1989 г.

Подписано к печати 15.12.1989 г.

Формат 80x90/16

Печ. л. 5,25 + 0,5 приложение

Уч.-изд. л. 4,83

Тираж 300

Заказ № 230

Цена 1 руб.

Таллиннский технический университет

200108 Таллинн, Эхитаяте теэ, 5

Ротапринт ТТУ

200006 Таллинн, ул. Коскла, 2/9

© Таллиннский технический университет, 1989

СЛАНЦЕЗОЛЬНЫЕ ЦЕМЕНТЫ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В качестве перспективных минеральных добавок к цементу все больший интерес привлекают летучие золы, образующиеся при сжигании на теплосельктростанциях твердых топлив, таких как каменные и бурые угли и горючий сланец. Золы твердых топлив по своему химическому составу могут быть применены в качестве минеральных добавок к портландцементу, причем они обладают рядом более ценных свойств по сравнению с гидравлическими добавками и доменными шлаками. В первую очередь они служат в качестве мелкодисперсных пластификаторов.

В НИ лаборатории строительных материалов Таллиннского технического университета совместно с НИИИстроительства Госстроя ЭССР, Прибалтийской ГРЭС и НПО "Ээсти цемент" в результате многолетних исследований разработан и внедрен метод селективного использования летучей сланцевой золы в виде трех фракций с разным, но определенным зерновым и химическим составом (см. табл. I). Эти фракции, условно названные крупной, мелкой и мельчайшей, можно получить непосредственно в процессе золоулавливания из дымовых газов на электростанциях без существенных дополнительных затрат при использовании циклонов и электрофильтров определенных типов, обеспечивающих требуемый уровень КПД.

Крупная фракция наиболее подходит для изготовления автоклавных бетонов. Мелкая фракция в композиции с клинкером подходит для изготовления сланцезольных вяжущих - куермит-цементов марки до 300 (65-75 % мелкой фракции золы и 35-25 % цементного клинкера) и сланцезольных цементов с микронаполнителями марки до 300 (30-40 % мелкой фракции

зола, 25-35 % цементного клинкера и 15-25 % кварцевого песка). Мельчайшая фракция используется в качестве добавки к портландцементному клинкеру и дает быстротвердеющий и высокомарочный сланцезольный портландцемент. Из смеси 25-35 % мельчайшей летучей зола, 45-55 % клинкера и 15-25 % кварцевого песка получают сланцезольный портландцемент с микрозаполнителями марки 400.

Т а б л и ц а 1

Основные характеристики	Фракции летучей зола		
	крупная	мелкая	мельчайшая
Уд. поверхность, м ² /кг	50-120	180-250	280-500
Средний размер зерен, мкм	50-130	12-24	6,5-9
CaO _{общ.} , %	50-58	36-44	29-36
CaO _{своб.} , %	20-32	12-17	6-12
	4-8	8-12	15-19
Модуль основности	1,2-1,9	0,75-1,0	0,6-0,8
R ₂₈ кукермита, МПа	4-10	12-17	16-26

Перечень разработанных лабораторией цементов и уровень их разработки нижеследующие:

Т а б л и ц а 2

Наименование цемента	Используемая фракция зола	Состав цемента, %			Марки цемента	Уровень разработки
		клинкер	зола	кварцевый песок		
I	2	3	4	5	6	7
Кукермит	Мелкая	-	100	-	100	Промышленно произведено 80 млн. тонн
Кукермит-цемент	Мелкая	25-35	65-35	-	200-300	Опытная партия
Сланцезольный цемент с микрозаполнителями	Мелкая или мельчайшая	25-35	30-40	30-40	200-300	Лабораторный, требуется дополнительное изучение в бетонах

1	2	3	4	5	6	7
Сланцезоль- ный цемент с микронапол- нителями	Мелкая или мель- чайшая	45- -55	25- -35	15- -25	400- -500	Лаборатор- ный, тре- буется до- полни- тельное изучение в бетонах
Сланцезоль- ный порт- ландцемент	Мельчай- шая	70- -80	20- -30	-	500- -600	Промышлен- ное произ- водство 4 млн. тонн
То же	Мельчай- шая	70- -80	20- -30	-	600- -700	Опытная партия
Сульфатстой- кий сланце- зольный портландце- мент	Мельчай- шая	70- -75	25- -30	-	550	Опытная партия
Напрягающий сланцезоль- ный цемент	Мельчай- шая	60- -70	30- -40	-	500- -550	Опытная партия

Кукермит-цемент, получаемый совместным помолом 65-75 % мелкой фракции летучей сланцевой золы и 35-25 % цементного клинкера, является расширяющимся цементом и требует более тщательного соблюдения технологии изготовления и использования, чем обычные или безусадочные цементы, особенно при повышенной влажности. Это обусловило необходимость разработки составов сланцезольных цементов с микронаполнителями. Разработанные составы с низким содержанием клинкера (30 % клинкера + 40 % золы + 30 % кварцевого песка) имеют марки 200 и 300.

Этот цемент может применяться для изготовления кладочных и штукатурных растворов, а также для изготовления бетонов. Результаты испытания бетонов на цементях вышеуказанного состава показали, что бетонные смеси с расходом цемента 350 кг/м³ и осадкой конуса I-3 см позволяют обеспечить прочность при сжатии 30-35 МПа.

Разработанные составы при высоком содержании клинкера (50 % клинкера + 30 % золы + 20 % кварцевого песка) имеют марку 400-500. Водопотребность бетонных смесей на этих цементах на 10-20 % ниже, чем при использовании обычного порт-

ландцемента. Бетонные смеси с расходом цемента 350 кг/м^3 и осадкой конуса 2–3 см позволяют обеспечить прочность бетона при сжатии 40–45 МПа.

При пропаривании оптимальной является температура пропаривания 80°C . Коэффициенты эффективности пропаривания K_1 и K_2 составляют 0,64–0,68. Сланцезольные цементы являются безусадочными. Данные о влажностных деформациях бетонов, подвергавшихся высушиванию с возраста 7 суток, показывают, что усадка бетонов на сланцезольных цементах немного больше, чем у бетонов на обыкновенном портландцементе. Однако суммарная деформация усадки (0,20 мм/м) у бетонов на сланцезольных цементах меньше, так как они расширяются перед испытанием на усадку в большей степени, чем обычный портландцемент.

Сланцезольный портландцемент. Первая опытная партия сланцезольного портландцемента была изготовлена на заводе "Пунане Кунда" в 1960 году. Массовое промышленное производство этого цемента началось через 16 лет. Сланцезольный портландцемент оказал значительное влияние на развитие промышленности железобетона в ЭССР и завоевал в строительной промышленности нашей республики всеобщее признание.

Марка сланцезольного портландцемента – от 500 до 600. Почти весь цемент применен для изготовления сборного железобетона, где он при пропаривании соответствует требованиям к высокoeffективному и высокомарочному портландцементу. В этих условиях он особенно эффективен и его расход значительно ниже, чем портландцемента марки 400.

На СзЩ изготовлено около 12 млн. м^3 железобетонных изделий, конструкций и сооружений. СзЩ в Эстонской ССР является преобладающим – на его основе изготавливается около 90 % железобетонных изделий, прежде всего, крупноразмерных и ответственных преднапряженных конструкций, а также деталей, для которых особенно важны малая водопотребность цемента и высокая стойкость бетона. Из этих изделий возведено множество промышленных комплексов, жилые районы, такие как Ысьмяе и Ласнамяе в Таллине, морские набережные, Таллиннская телебашня, дымовые трубы электростанций, виадуки, Ленинградская АЭС и пр. Полученный от СзЩ экономический эффект составля-

ет около 27 млн. руб., причем сэкономлено более 2 млн. тонн цемента.

Сульфатостойкий сланцезольный портландцемент. В проблемной лаборатории строительных материалов ТТУ разработан сульфатостойкий сланцезольный портландцемент, обеспечивающий сульфатостойкость, равную сульфатостойкому портландцементу при содержании золы сланца-кукерсита 27-32%. При этом содержание C_3A в используемом клинкере должно быть ниже 8%, содержание свободной извести в золе - в пределах 7-10% и удельная поверхность золы - более 320 м²/кг. Повышенная сульфатостойкость названного цемента обеспечивается благодаря пониженному содержанию C_3A в цементе, а также уплотнению структуры бетона за счет низкой водопотребности сульфатостойкого СзЩ, его пуццоланового твердения и расширения.

Напрягающий сланцезольный цемент получается совместным помолом портландцементного клинкера и фракции летучей золы сланца-кукерсита определенного состава и качества. В отличие от сульфалоуминатных напрягающих цементов, расширение СзЩ происходит в основном по оксидному типу и в меньшей мере - по сульфалоуминатному типу. Разработанный напрягающий цемент имеет две марки: СзЩ-20 и СзЩ-40. Эти цементы отличаются по количеству золы в цементе. СзЩ-20 при твердении в нормальных условиях обеспечивает самоупрежение 2...4 МПа и свободное расширение 2...5 мм/м, а СзЩ-40 - самоупрежение 4...6 МПа и свободное расширение 5...10 мм/м. Прочность при сжатии обоих цементов 73-88 МПа (состав раствора 1:1), начало схватывания 3...6 часов, конец 4...8 часов.

Опытная партия СзЩ в количестве 650 тонн была выпущена в НПО "Ээсти цемент" по ТУ 21-1 ЭССР 5-87. Цемент имел самоупрежение 6,3 МПа, свободное расширение - 10 мм/м и прочность при сжатии - 77 МПа. Данный цемент был использован на 6 строительных объектах Эстонской ССР, в том числе при бетонировании стен и днищ аэротенков и замонуличивании стыков отстойников водоочистных сооружений, строительстве канализационной насосной станции, ремонте плавательного бассейна и т.д.

Eriotstarbelised põlevkivituhktsemendid

Kokkuvõte

Põlevkivi ja pruunsöe tolm põletamisel soojuselektrijaa-
mades tekkinud lendtuhk on muutunud perspektiivseks mineraal-
seks lisandiks tsemendile.

TTÜ ehitusmaterjalide teadusliku uurimise laboratoorium
koos ENSV Ehituskomitee TU Instituudi, Balti SEJ ja tsemendi-
tehasega "Punane Kunda" on aastate vältel uurinud lendtuhka-
de selektiivse kasutamise võimalusi. On välja töötatud 8
erinevate omadustega tsementi, milledest põlevkivituhk-port-
landtsementi on tehases "Punane Kunda" massiliselt toodetud
juba 16 aastat. Käesolevaks ajaks on toodetud seda kõrgemar-
gilist tsementi juba 4 milj. tonni.

Eriotstarbelistest tsementidest on loodud ja toodetud
sulfaadikindlat põlevkivituhk-portlandtsementi ning põlevki-
vituhk-pingetsementi.

Põlevkivituhk-portlandtsemendi baasil on toodetud ligi-
kaudu 12 milj. m³ raudbetoontooteid, konstruktsioone ja ehi-
tisi. Majanduslikku tulu selle tsemendi kasutamisest võib
hinnata 27 milj. rublale, seejuures on säästetud üle 2 milj.
tonni tsementi.

Special Purpose Oil-Shale Fly-Ash Portland Cements

Abstract

Oil-shale and brown coal ash has become a valuable mineralogical addition to cements.

In the laboratory of building materials of Tallinn Technical University in cooperation with other representatives from research and industry selective use of fly-ash has been worked out.

All together 8 cements were developed. One of them, oil-shale fly-ash portland cement has been in production for 16 years already.

The total amount, manufactured during these years has reached to 16 million tons. Sulphate resistant and selfstraining fly-ash portland cements are special purpose products, being in production now.

With the help of oil-shale fly-ash portland cement about 12 million m³ of reinforced concrete, constructions and buildings have been produced.

The economical effect due to the use of this cement in building industry is about 27 million roubles and the economy of about 2 million tons of cement has been achieved.

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ СЛАНЦЕЗОЛЬНОГО ПОРТЛАНЦЕМЕНТА С ДОБАВКОЙ ПЕСКА

Трехкомпонентные цементы, состоящие из портландцементного клинкера, мельчайшей фракции летучей сланцевой золы и кварцевого песка, изучались в работах Лаула И., Розенберг М. и других авторов [1-2]. В этих работах исследовались цементы, содержащие до 50 % портландцементного клинкера. В данной работе изучаются сланцезольные портландцементы с добавкой песка, содержащие 60-70 % портландцементного клинкера.

Для исследования изготавливались цементы совместным помоллом предварительно размолотого клинкера (60-70 %), мельчайшей фракции летучей сланцевой золы (15-25 %) и кварцевого песка (10-15 %). Часть вяжущих изготовлялась с добавкой трещела. Для сравнения изготавливались портландцементы, по составу аналогичные изготавливаемым в НПО "Ээсти цемент". В исследовании были применены 2 клинкера НПО "Ээсти цемент". Их основные показатели приведены в таблице I.

Т а б л и ц а I

Прочностные показатели клинкеров в возрасте
28 суток

Обозначение клинкера	Содержание, %			Прочность стандартного раствора нормального твердения, МПа		Прочность пропаренного при +85 °С раствора, МПа	
	SO ₃	K ₂ O	CaO _{св}	при сжатии	при изгибе	при сжатии	при изгибе
Кл. 1 25.03.79	1,0	1,22	0,5	51,5	8,4	33,1	5,9
Кл. 2 30.04.79	0,6	0,80	1,1	47,9	7,0	31,0	5,1

Из приведенных в таблице I данных следует, что использованные клинкера обладают высокой гидравлической активностью и содержат сравнительно мало SO_3 . В качестве добавки использовалась мельчайшая фракция летучей сланцевой золы, уловленная электрофильтрами четвертого котла Прибалтийской ГРЭС. Удельная поверхность золы $3200 \text{ см}^2/\text{г}$, содержание $\text{CaO}_{\text{св}}$ - 9,0 %, SO_3 - 9,0 % и модуль качества 356.

Клинкер измельчался в дробилке, затем размалывался до удельной поверхности $2000 \text{ см}^2/\text{г}$. Совместный помол предварительно размолотого клинкера, фракции летучей сланцевой золы и других добавок продолжался 40 минут. Из полученных цементов изготавливались образцы $4 \times 4 \times 16 \text{ см}$ по ГОСТ 310.2-81 и 310.4-81. Полученные результаты приведены в таблице 2.

Из данных таблицы 2 следует, что прочность образцов, изготовленных на базе сланцезольного портландцемента с добавкой песка, превышает прочность образцов, изготовленных на базе портландцемента с добавкой песка (10 %) и трепела (5 %). При этом, чем больше содержит цемент мельчайшей фракции золы, тем выше прочностные показатели. Добавка трепела к изученным цементам в количестве 3-5 % также повышает прочностные показатели. При сравнении прочностных показателей следует, что прочность образцов, изготовленных на базе сланцезольного портландцемента с добавкой песка, превышает прочность образцов, изготовленных на базе портландцемента с добавкой песка в возрасте 28 суток нормального твердения, на 0,6-6,6 МПа. Если же сланцезольный портландцемент содержит 25 % мельчайшей фракции золы, разница составляет 5,8 - 6,6 МПа.

При твердении образцов в условиях пропаривания при $+85^\circ \text{C}$ прочность образцов, изготовленных на базе сланцезольного портландцемента с добавкой песка, превышает прочность образцов, изготовленных на базе портландцемента с добавкой песка после пропаривания на 3-9 МПа, и в возрасте 28 суток на 2-9 МПа. Таким образом, исходя из прочностных показателей образцов, выявляется возможность использования добавки к сланцезольным портландцементам, что позволяет увеличить количество выпускаемого цемента и повысить прочностные показатели цементов.

Т а б л и ц а 2

Прочностные показатели сланцезольных портландцементов с добавкой песка

Клинкер		Состав цемента, %				Раствор		Прочность раствора нормального твердения, МПа				Прочность пропаренного при +85 °С раствора, МПа			
		зола	песок	трепел	гипс	водоцементное отношение	расплав, мм	при сжатии		при изгибе		при сжатии		при изгибе	
								3	28	3	28	1	28	1	28
К л и н к е р 1															
70	20	10			0,34	II5	36,4	51,1	5,7	8,0	36,4	47,6	5,7	6,5	
67	20	10	3		0,34	II2	37,0	56,6	5,9	6,7	39,8	51,2	6,4	7,0	
65	20	15			0,33	II3	36,8	53,5	6,0	7,5	36,7	48,3	5,6	6,7	
65	20	10			0,34	II5	36,4	56,6	5,6	7,8	36,9	50,5	5,9	6,9	
81	-	10	5	4	0,40	II3	30,7	50,0	5,4	7,5	30,9	41,7	5,9	6,2	
К л и н к е р 2															
70	20	10			0,34	II2	26,8	46,6	5,0	4,7	32,6	44,8	5,5	6,3	
65	25	10			0,34	II3	29,7	51,8	5,6	7,3	34,1	45,2	5,7	6,3	
60	25	10	5		0,36	II2	27,2	52,4	4,3	7,6	36,4	45,7	6,2	7,0	
70	15	10	5		0,38	II5	25,8	47,0	4,7	7,1	32,6	44,4	5,5	6,1	
81	-	10	5	4	0,38	II5	27,6	46,0	4,9	7,0	29,2	41,8	5,1	5,5	

Расширение образцов нормального твердения

Состав цемента, %				Расширение, мм/м										
клин-кер-	зола	песок	гипс	образцы твердели в воде							3 г.			
				тре-пел	7 сут.	1 мес.	6 мес.	1 г.	2 г.	2,5 г.	3 г.	3,5 г		
К л и н к е р 1														
70	20	10	-	0,10	0,07	0,07	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	-
67	20	10	3	0,04	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
65	20	15	-	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,05
65	25	10	-	0,20	0,07	0,07	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
81	-	10	4	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
К л и н к е р 2														
70	20	10		0,14	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
65	25	10		0,18	0,18	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,04
60	25	10	5	0,10	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,04
70	15	10	5	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
81	10	10	4	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	-

Расширение образцов нормального твердения при их хранении в насыщенном влагой воздухе

Состав цемента, %				Расширение, мм/м										
клинкер	зола	песок	гипс	Образцы твердели в насыщенном влагой воздухе										
				тре-пел	7 сут.	1 мес.	6 мес.	1 г.	2 г.	2,5 г.	3 г.	3,5 г.		
К л и н к е р 1														
70	20	10			0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
67	20	10	3	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
65	20	15		0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
65	25	10		0,07	0,07	0,07	0,07	0,14	0,14	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
81		10	5	4	0,07	0,07	0,07	0,07	0,14	0,14	0,07	0,07	0,07	0,07
К л и н к е р 2														
70	20	10		0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
65	25	10		0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
60	25	10	5	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
70	15	10	5	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
81		10	5	4	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07

Стойкость сланцезольных цементов с добавкой песка изучалась на мелкозернистых бетонах, изготовленных по ГОСТ 310.4-81 при равном распыле конуса П13-П15 мм. Образцы твердели в нормальных условиях и пропаривались при температуре $+85^{\circ}\text{C}$ по режиму 2+3+6+2 часа. После извлечения из форм образцы хранились в воде и в насыщенном влажной воздухе. Через определенные промежутки времени определялось расширение образцов и динамический модуль упругости (E_d). Полученные данные представлены в таблицах 3 и 4.

Из данных таблиц 3, 4 следует, что расширение образцов, твердевших в нормальных условиях и хранившихся в воде и в насыщенном влажной воздухе в течение 3,5 лет практически отсутствует. Модуль упругости образцов при этом постоянно повышается. Следовательно, в течение исследуемого периода образцы не подвергались деструктивным процессам, которые вызвали бы спад прочности. То же можно сказать и о пропаренных образцах.

В заключение можно сказать, что 10%-ная добавка кварцевого песка к сланцезольному портуландцементу, изготовленному на базе высококачественного клинкера и мельчайшей фракции летучей сланцевой золы (25%), сравнительно мало уменьшает гидравлическую активность цемента. Образцы на этом цементе стойки в воде и в насыщенном влажной воздухе. Если активность клинкера выше 46 МПа, то при 25%-ной добавке мельчайшей фракции золы и 10%-ной добавке кварцевого песка можно получить цемент с маркой 500.

Л и т е р а т у р а

1. Лауля И.А., Розенберг М.Г. Эффективность пропаривания сланцезольного цемента с микронаполнителями // Тр. Таллиннск. политехн. ин-та. 1982. № 541. С. 75-82.
2. Лауля И.А., Розенберг М.Г., Уусталу Э.И. Влияние зольного компонента на активность сланцезольных цементов с микронаполнителями // Тр. Таллиннск. политехн. ин-та. 1984. № 573. С. 55-60.
3. Лауля И.А., Кикас В.Х., Хайн А.А. Среднемарочный сланцезольный портуландцемент с микронаполнителями // Тр. Таллиннск. политехн. ин-та. 1975. № 388.

4. Лаул И.А., Кикас В.Х., Розенберг М.Г. Свойства сланцеозольных цементов с микронаполнителями при повышенном содержании клинкера // Тр. Таллинск. политехн. ин-та. 1979. № 489.

V. Nurm, J. Nüssik

Liivalisandiga põlevkivituhk-portlandtsemendide omaduste uurimine

Kokkuvõte

Uuritud tsemendid valmistati 60 - 70 % portlandtsemendi klinkri, 15 - 25 % lendtuha peenima fraktsiooni ja 10 - 15 % kvartsi liiva koosjahvatamise teel.

10 %-line liivalisand põlevkivituhk-portlandtsemendile, mis on valmistatud kvaliteetsest klinkrist ja põlevkivilendtuha peenimast fraktsioonist, ei vähenda oluliselt tsemendi hüdraulilist aktiivsust. Selle tsemendiga valmistatud proovikehad on püsivad vees ja niiskes keskkonnas. Klinkri aktiivsusel > 46 MPa on 25 % tuha- ja 10 % liivasisalduse puhul võimalik saada tsemendi mangiga 500.

V. Nurm, J. Nüssik

Studies of Oil-Shale Fly-Ash Portland Cements with Sand Additions

Abstract

Studies were carried out with portland cements, prepared of 60 - 70 % portland cement clinker, 15 - 25 % finest fraction of fly-ash and 10 - 15 % quartz sand. All components were milled together. The addition of 10 % quartz sand to cement, when using high quality clinker and ash, does not reduce the hydraulic activity of cement. Samples made of this cement are durable in water and in humid conditions.

If the clinker activity is higher than 46 MPa, cement grade 500 is possible to be manufactured by adding 25 % ash and 10 % sand.

О ВОЗМОЖНОСТЯХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЛАНЦЕВЫХ ЗОЛ С
ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ СВОБОДНОЙ ИЗВЕСТИ ПРИ
ИЗГОТОВЛЕНИИ СПЕЦИАЛЬНЫХ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТОВ

При сжигании прибалтийских сланцев на Прибалтийской и Эстонской ГРЭС образуется зола с различными свойствами и составом. Это обусловлено в основном различиями в крупности и зерновом составе золы, а также тем, что применяется топливо разных разрезов и разных способов добычи (шахтное и карьерное), кроме того, различаются типы котлов и системы золоулавливания.

В настоящее время зола успешно применяется в разных областях народного хозяйства — в цементной промышленности, при изготовлении автоклавных бетонов, в дорожном строительстве, в химической промышленности, в сельском хозяйстве [1]. Зола могла бы найти более целесообразное и эффективное применение, особенно в цементной промышленности, где эффективность использования золы наивысшая [1]. Однако более широкое ее применение в некоторых случаях затруднено из-за повышенного содержания свободной извести (золы Эстонской ГРЭС). На Эстонской ГРЭС сжигают топливо карьеров "Октообри" и "Сиргала", в котором содержание известняка в сравнении с шахтным топливом выше. Вследствие этого получают золу не только с достаточно высокой тонкостью (более $300 \text{ м}^2/\text{кг}$), но и повышенным содержанием свободной извести (более 12 %). Одной возможностью использования таких зол является их "разбавление" золами с более низким содержанием свободной извести. Эти возможности исследуются в настоящей статье.

Таблица I

Химический и фракционный составы примененных зол

Вид золы	Место отбора	Обозначение	Содержание, %					S, м ² /кг	d _s , мкм	Неоднородность зернового состава, σ			
			SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	CaO _{сб}				MgO	SO ₃	нерастворимого в 3% HCl остатка
Сланцевая зола (сланец карьера "Октобри")	Зстонская ГРЭС 3-й котел 3-е поле электрофильтров	С ₃ ¹	32,4	4,1	10,2	35,6	15,4	2,6	7,3	20,2	353	9	0,95
Буругольная зола (березовский уголь)	Назаровская ГРЭС 7-й энергоблок 3-е поле электрофильтров	Б ₃ ¹	25,4	18,4	10,4	32,2	3,0	4,5	6,3	26,7	313	12	1,26
Буругольная зола (назаровский уголь)	Назаровская ГРЭС 4-й энергоблок, БУ	Б ₃ ²	32,5	16,8	10,9	32,6	6,1	4,7	1,7	35,5	253	12	0,95
Каменноугольная зола (подмосковный уголь)	Шекинская ГРЭС 17-й котел, 3-е поле электрофильтров	К ₃ ²	47,0	6,6	35,9	3,2	нет	0,7	2,8	78,9	378	22	1,20

В исследовании применялась зола, отобранная из 3-го поля электрофильтров 3-го котла Эстонской ГРЭС. В качестве модифицирующих добавок применялись золы бурых углей назаровского и березовского месторождений КАТЭКа. Назаровские бурые угли сжигаются на Назаровской ГРЭС. Проба золы назаровского угля была отобрана из батарейных циклонов 4-го энергоблока Назаровской ГРЭС, а проба золы березовского угля из электрофильтров 7-го энергоблока в ходе их опытного сжигания на той же электростанции в 1982 году. Данные золы характеризуются довольно низким содержанием свободной извести (3-6 %).

Применялись также каменноугольная зола, отобранная из электрофильтров 17-го котла Щекинской ГРЭС, и трепел.

Все примененные золы имели потери при прокаливании ниже 1 %.

Применяемые золы подвергались химическому и гранулометрическому анализам. Гранулометрический анализ проводился на центробежном воздушном сепараторе "Бако". Гранулометрический состав золы представляется в виде двух показателей - медианного размера частиц золы и неоднородности зернового состава [2].

Свойства зол приведены в таблице 1.

С этими добавками изготовлялись золопортландцементы при общем содержании добавки 30 %. При этом использовалась 30%-ная добавка только одной золы, а также смеси двух зол в соотношении 5+25 и 15+15 %. Цементы изготовлялись на основе клинкера НИО "Ээсти цемент". Свойства клинкера приведены в таблице 2.

Т а б л и ц а 2

Химико-минералогический состав клинкера "Ээсти цемент"

Содержание, %								Минералогический состав, %			
SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	CaO _{св}	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
20,0	3,5	5,2	62,5	4,1	1,6	1,3	0,6	56	16	10	11

Цементы изготавливались следующим образом: к предварительно размолотому клинкеру добавлялась зола, после чего

Т а б л и ц а 3

Влияние разных добавок на свойства порглендцемента с добавкой сланцевой
золы из Эстонской ГРЭС (С₃)

Добавка		Распылв конуса, мм при 0,40		В/Ц	Прочность, МПа					
		обозна- чение	%		при сжатии в возрасте			при изгибе в возрасте		
Обозна- чение	%	3	4	6	7	8	9	10	II	12
Без добавки										
C ₁	30	-	-	0,39	27,6	39,0	42,0	5,0	7,0	7,2
C ₁	25	B ₁	5	0,36	30,2	43,4	48,7	4,4	6,6	7,2
C ₁	15	B ₁	15	0,375	29,0	43,1	48,1	5,0	6,6	7,0
C ₁	5	B ₁	25	0,38	26,0	39,7	45,4	4,8	6,2	6,8
-	-	B ₁	30	0,38	24,2	37,8	43,9	4,5	6,1	6,7
C ₁	25	B ₂	5	0,37	26,8	39,2	44,3	3,8	6,0	6,4
C ₁	15	B ₂	15	0,36	27,5	41,3	47,0	4,3	6,3	6,9
C ₁	5	B ₂	25	0,36	28,7	42,8	48,2	4,8	6,4	7,0
-	-	B ₂	30	0,36	27,4	41,2	49,3	4,4	6,1	7,1
C ₁	25	K ₂	5	0,37	28,3	42,9	49,0	4,1	6,2	7,0
C ₁	15	K ₂	15	0,38	24,8	41,9	50,7	4,4	6,6	7,8
C ₁	5	K ₂	25	0,39	21,8	40,8	51,4	4,5	6,7	8,4

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	II	I2
-	-	K ₃ ²	30	108	0,40	19,7	39,5	49,1	3,9	7,0	8,5
C ₁	25	T	5	I25	0,37	32,5	52,7	55,0	5,2	7,9	8,3
C ₂	15	T	15	III	0,40	23,6	48,3	53,8	4,8	7,8	8,1
C ₃	5	T	25	I04	0,41	15,0	39,7	44,0	3,9	7,4	7,6
-	-	T	30	I02	0,45	12,1	34,0	37,8	2,5	6,2	6,6

производился дополнительный совместный помол в течение 30 минут, в ходе которого происходило перемешивание добавок с клинкером. В цементы (где это было необходимо) добавлялся гипс с учетом того, чтобы содержание SO_3 в цементе составило 3,0 %. У золопортландцементов определялась активность, расплыв растворного конуса.

Результаты исследований

Влияние разных минеральных добавок на водопотребность получаемых цементов характеризуется изменениями расплыва растворного конуса, приведенными в таблице 3. Как видно, почти все исследуемые добавки, кроме B_3^2 , увеличивают водопотребность смешанного цемента. При этом водопотребность портландцемента с 30%-ной добавкой C_3^1 в сравнении с эталоном на II % ниже. Из изученных составов наибольшие эффекты проявились в случае добавления к сланцезольному цементу 5-10 % березовской золы (B_3^1) или трепела. В последнем случае повышение активности составило 13-14 МПа в сравнении с бездобавочным цементом, а в сравнении с цементом, имеющим 30%-ную добавку, C_3^1 даже на 16-18 МПа.

Остальные золы заметного эффекта не проявляют, хотя и здесь наблюдается повышение прочности. При этом, в случае добавки K_3^2 , оптимум находится, как и в случае добавки B_3^1 и Т, при добавках 5-10 %, а в случае добавки B_3^2 - при добавках 20-25 %.

Анализ результатов

Применяемая сланцевая зола характеризуется не очень высокой пластифицирующей способностью, например, в сравнении с МФЛСЗ, у которого расплыв конуса при 30%-ной добавке увеличивается в среднем на 35 % [1]. Примерно такой же пластифицирующей способностью, как C_3^1 , обладала и зола B_3^2 , о чем свидетельствует равная неоднородность зернового состава. Поэтому существенного изменения водопотребности смешанных цементов с этими добавками не наблюдалось.

Остальные же добавки имеют более низкую пластифицирующую способность, или даже наоборот - они повышают водопотребность смешанного цемента (K_3^2 и Т). Тут причины раз-

ные: в случае золы B_3^1 мы имеем дело с повышенным показателем неоднородности зернового состава, а в случае K_3^2 и T с пористой поверхностью частиц добавки. Влияние разных добавок на прочность смешанного цемента зависит от многих параметров, в частности, от активности золы, от содержания свободной извести, от тонкости и зернового состава золы. В случае добавления к сланцезольному портландцементу с добавкой C_3^1 (СзПЦ) малопластифицирующей добавки или добавки, увеличивающей водопотребность цемента (B_3^1 , K_3^2 и T), оптимальным является состав 20...25 % C_3^1 и 5...10 % такой добавки. Резкое повышение прочности при достижении оптимума со стороны максимума содержания C_3^1 в цементе (30 %) связано скорее с низкой прочностью цемента исходного состава (30 % C_3^1). Благодаря довольно высокому содержанию в цементе $CaO_{св}$ (4,5 %) при твердении наблюдается значительное расширение, которое сопровождается образованием трещин, приводящих к резкому снижению прочности. При введении к такой системе малопластифицирующей добавки с высокой тонкостью и значительным разбросом в размерах зерен (большая б) образуется своеобразный каркас за счет этой добавки подобно цементам с микронаполнителями. Этот каркас препятствует образованию трещин, а, с другой стороны, расширение в более "жесткой" системе вызывает уплотнение структуры и повышение прочности.

С увеличением содержания такой добавки до 15 % и далее превалировать будет уже повышение водопотребности и прочность в сравнении с цементом с 5 % трепела и 25 % C_3^1 будет падать из-за увеличения В/Ц. Однако в сравнении с эталонной прочностью это все еще значительно выше.

В случае добавления к СзПЦ B_3^2 , которая имеет с C_3^1 примерно одинаковую водопотребность, наблюдается некоторое увеличение прочности при увеличении содержания B_3^2 в смеси. Тут, очевидно, действует примерно такой же механизм структурообразования как и в случае непластифицирующей добавки - деструктивное влияние свободной извести уменьшается. К тому же не происходит увеличения водопотребности и в результате прочность с увеличением содержания B_3^2 в смеси добавок увеличивается. Оптимальное содержание B_3^2 , как показывают опыты, 20...25 %. При увеличении содержания B_3^2

в цементе до 30 % прочность несколько снижается. Содержание 5...10 % C_3^1 в смеси добавок оказывает активизирующее влияние. С увеличением возраста цементного камня происходит постепенная активизация и добавки B_3^2 , она будет участвовать в реакции. Вследствие этого в возрасте 56 суток наблюдается увеличение прочности и при 30%-ной добавке B_3^2 .

Выводы

1. В случае добавления к портландцементу добавки, состоящей из золы с высоким содержанием свободной извести (C_3^1) и из золы повышенной водопотребности (B_3^1 и K_3^2) или трепела (Т) наивысшая прочность достигается при содержании в составе добавки 20...25 % C_3^1 и 5...10 % B_3^1 , K_3^2 или Т. Тут в зависимости от активности и водопотребности добавки повышение прочности в сравнении с эталоном составило в лучшем случае 13 МПа. Очевидно, это обусловлено эффектом микронаполнителя плюс к этому расширения от гашения свободной извести.

2. В случае сочетаний C_3^1 и B_3^2 , являющихся добавками с примерно одинаковой водопотребностью, оптимум находится в составе 5...10 % C_3^1 и 20...25 % B_3^2 , в котором наблюдается повышение прочности в сравнении с эталоном 4 МПа. Тут C_3^1 оказывает активизирующее влияние на малоактивную добавку B_3^2 .

Л и т е р а т у р а

1. К и к а с В.Х. Минеральная часть горючего сланца-кукерсита и ее использование // Горючие сланцы. 1988. Т. 5. № 1. С. 15-27.

2. У с т а л у Э.И. Оценка тонкости портландцемента показателями зернового состава / IV конф. молодых ученых и специалистов Прибалтики и Белорусской ССР по проблемам строительства. Рига, 1971.

Suure vabalubjasisaldusega põlevkivituhkade
kasutamise võimalustest eriportlandtsementide
valmistamisel

Kokkuvõtte

Artiklis vaadeldakse erinevate mineraalsete lisandite koosmõju nende kasutamisel komplekslisandina portlandtsementidele. Uuriti nazarovo ja berjozovo pruunsöetuha, moskva kivisöetuha ning treepeli lisandi mõju kukersiitpõlevkivituhale, mida iseloomustab kõrgendatud vabalubjasisaldus (15,4 %) ja suhteliselt kõrge eripind ($353 \text{ m}^2/\text{kg}$). Leiti, et tsemendi koostis on optimaalne 25 % põlevkivituhaga ja 5 % berjozovo pruunsöe ja moskva kivisöetuha või treepeli sisaldusel.

H. Joon

Possibilities of the Use of Oil-Shale Fly-Ashes
with High Free-Lime Content in Special Portland
Cements

Abstract

The mutual impact of various mineral additives, if used as a complex-additive to the portland cement, has been examined. Nazarovo and Beryozovo lignite ashes, Moscow coal ashes as well as trepel were added to the oil-shale fly-ash. This oil-shale ash had an increased free-lime content (15,4 %) and relatively high specific surface ($353 \text{ m}^2/\text{kg}$). It was found that 25 % of oil-shale ash and 5 % of Beryozovo lignite, Moscow coal ash or trepel was the optimal cement composition.

ХИМИЧЕСКОЕ СВЯЗЫВАНИЕ ВОДЫ ЦЕМЕНТОМ В БЕТОНЕ

Развитие гидратации цемента в бетоне в определенной мере отличается от ее протекания, наблюдаемого при изучении гидратации цемента в цементной пасте. В связи с этим в данной работе была поставлена задача оценить гидратацию цемента непосредственно в бетоне по содержанию химически связанной воды и установить влияние этого фактора на формирование свойств бетона.

При изучении данного вопроса в качестве вяжущих использовались сланцевольный портландцемент (СзПЦ) заводского изготовления, а также портландцемент (ПЦ) и сланцевольные портландцементы лабораторного изготовления, полученные на основе клинкера НПО "Ээсти цемент" при разном количестве и качестве добавки летучей сланцевой золы. Добавку золы варьировали в пределах 0-35 %. Модуль качества золы, то есть соотношение удельной поверхности золы (m^2/g) и долевого содержания свободной извести в золе, варьировали в пределах 1,8-7,8 m^2/g .

Из показателей состава бетона варьировались расходы цемента и воды в бетоне ($C = 200...500 \text{ кг}/m^3$, $B = 140...204 \text{ л}/m^3$) и объемная концентрация крупного заполнителя $\varphi_{\text{ц}} = 360...530 \text{ л}/m^3$. В качестве заполнителей использовался известняковый щебень с наибольшей крупностью до 40 мм и кварцевый песок карьера "Мяннику", который дозировался в виде отдельных фракций - менее 0,63 и 0,63-5 мм. Часть смесей изготавливалась с добавкой суперпластификатора С-3 в количестве 0...1,2 % от массы цемента.

Твердение бетонов протекало в нормальных условиях ($20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$) и при тепловлажностной обработке разной интенсивности. Длительность изотермической выдержки при про-

паривании варьировалась в пределах 2-8 часов, а температура пропаривания - в пределах 65-95 °С. Время предварительной выдержки - 3 часа. Подъем температуры осуществлялся со скоростью 20 °С/ч.

Содержание химически связанной воды в бетоне находилось с использованием бетонных образцов-кубов со стороной 7 см по формуле $v_{кв} = V - p_0$, то есть по разнице между расходом воды в бетоне (V) и содержанием открытых пор (p_0), образуемых химически не связанной водой, которое определялось по водопоглощению за двое суток высушенных до постоянной массы при 105 °С образцов. Условно-замкнутая пористость при этом не учитывалась, так как она в значительной мере обусловлена воздухововлечением при изготовлении бетонной смеси.

В основу данного исследования были положены методы планирования эксперимента с использованием параболической регрессии. При анализе результатов для оценки близости получаемых поверхностей отклика к опытным данным использовалась множественная параболическая корреляция (R). При этом различные технологические или структурные факторы принимались за независимые переменные и определялась взаимосвязь между определенными их сочетаниями и содержанием связанной воды в бетоне или свойствами бетона. Допустимость принятия тех или иных сочетаний технологических или структурных факторов за независимые переменные оценивалась по показателю D-эффективности (e_D) [1]. Этот показатель может изменяться в пределах 0...1. Он равен единице в случае воображаемого непрерывного плана; в реальных условиях опыты проводятся в конечном числе опытных точек и показатель D-эффективности не достигает единицы. Чем больше его величина, тем информативнее распределяются точки, характеризующие сочетания технологических или структурных факторов в факторном пространстве переменных, и тем надежнее получаемые результаты корреляционного и регрессионного анализа.

В качестве обобщающей характеристики использовалось значение достоверности описания (Re_D) содержащейся в опытных данных информации об исследуемых закономерностях уравнениями регрессии, которая находилась как произведение

D-эффективности на коэффициент множественной параболической корреляции. Графическому анализу подвергались уравнения регрессии, полученные при таких сочетаниях технологических или структурных факторов, для которых обеспечивался максимальный уровень достоверности описания Re_D .

Рассмотрим полученные зависимости содержания химически связанной воды в бетоне от основных технологических факторов.

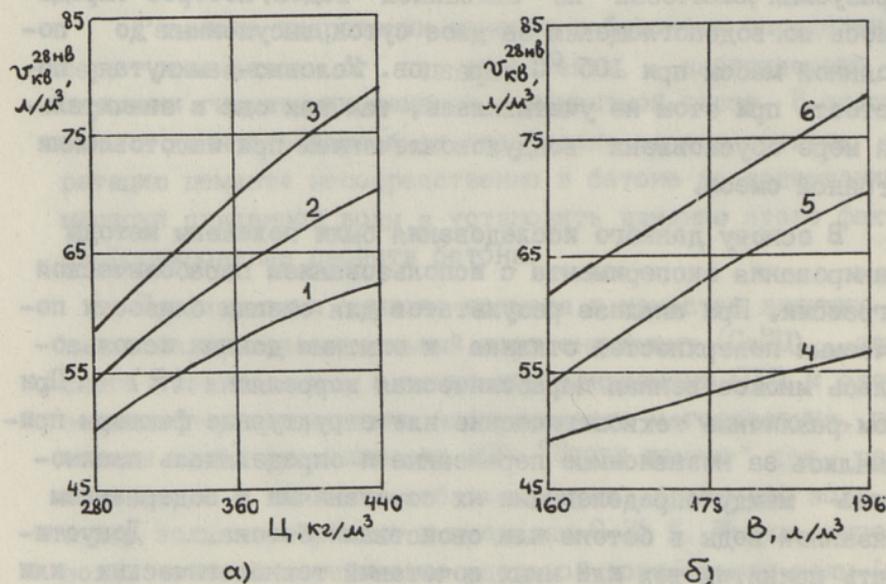


Рис. 1. Зависимость содержания связанной воды ($v_{кв}$) в бетоне, твердевшем 28 суток в воде при 20°C , от расхода цемента Ц (а) и расхода воды В в бетоне (б). Достоверность описания $Re_D = 0,94$ ($e_D = 0,97$; $R = 0,97$).

№ кривой	Расход воды, л/м ³	№ кривой	Расход цемента, кг/м ³
1	151	4	244
2	167	5	350
3	183	6	458

Из рисунка I видно, что как увеличение расхода цемента, так и увеличение расхода воды в бетонной смеси приводят к росту содержания химически связанной воды в бетоне. В

связи с этим содержание химически связанной воды в бетоне в значительной степени определяется начальным содержанием цементной пасты в бетонной смеси (рис. 2).

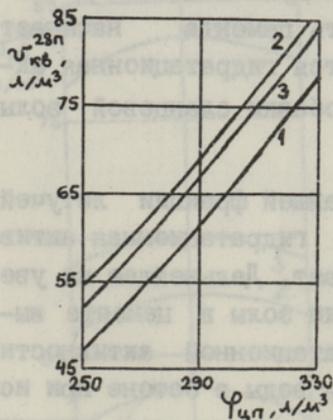


Рис. 2. Зависимость содержания связанной воды ($\nu_{кв}$) в пропаренном при 85°C бетоне в возрасте 28 суток от содержания цементной пасты $\phi_{цп}$ в исходной бетонной смеси. Достоверность описания $Re_D = 0,89$ ($e_D = 0,92$; $R = 0,97$).

№ кривой	Модуль качества золы, $\text{M}^2/\text{г}$
1	2,67
2	4,81
3	6,95

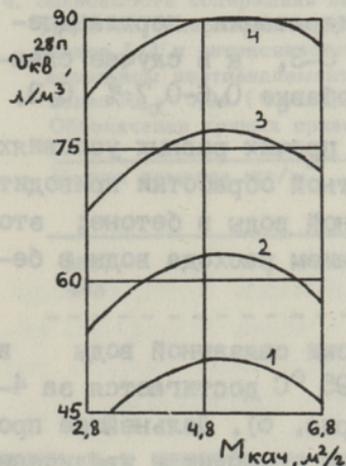


Рис. 3. Зависимость содержания связанной воды ($\nu_{кв}$) в пропаренном при 85°C бетоне в возрасте 28 суток от модуля качества золы $\text{M}_{кач}$ в составе сланцезольного цемента. Достоверность описания $Re_D = 0,91$ ($e_D = 0,93$; $R = 0,98$). Обозначения кривых приведены в таблице.

Расход цемента, $\text{кг}/\text{м}^3$	Расход воды, $\text{л}/\text{м}^3$	
	151	183
244	1	2
456	3	4

По количеству химически связанной воды в бетонах на сланцезольных цементах хорошо выявляется положительное влияние добавки золы на гидратационную активность цемента. На рис. 3 видно, что наибольшую гидратационную активность (степень химического связывания воды) имеют цементы, содержащие добавку сланцевой золы с модулем качества 5,0–5,5 м²/г. При дальнейшем увеличении модуля качества добавляемой золы гидратационная активность цемента начинает снижаться. В еще большей мере снижается гидратационная активность цемента при использовании добавки сланцевой золы с модулем качества ниже 3,0 м²/г.

При увеличении содержания мельчайшей фракции летучей сланцевой золы до 15–18 % (рис. 4а) гидратационная активность сланцезольного цемента возрастает. Дальнейшее же увеличение содержания мельчайшей фракции золы в цементе вызывает постепенное снижение его гидратационной активности. Все же степень химического связывания воды в бетоне при использовании сланцезольного портландцемента во всех случаях на 0;5–4 л/м³ превышает степень связывания воды в бетоне на основе обычного портландцемента.

Введение в бетонную смесь суперпластификатора С-3 в оптимальном количестве ускоряет гидратацию цемента (рис. 5а). При этом наибольшая степень гидратации портландцемента отмечалась при добавке 0,5 % С-3, а в случае сланцезольного портландцемента – при добавке 0,6–0,7 % С-3.

Из рисунка 5б видно, что при прочих равных условиях увеличение температуры тепловлажностной обработки приводит к росту содержания химически связанной воды в бетоне; это особенно четко проявляется с понижением расхода воды в бетонной смеси.

Максимальное содержание химически связанной воды в бетоне в условиях пропаривания при 95 °С достигается за 4–6 часов изотермической выдержки (рис. 6). Дальнейшее пропаривание при этой температуре уже не приводит к увеличению содержания химически связанной воды. Очевидно, в данных условиях начинается процесс перераспределения химически связанной воды между новообразованиями, который может при-

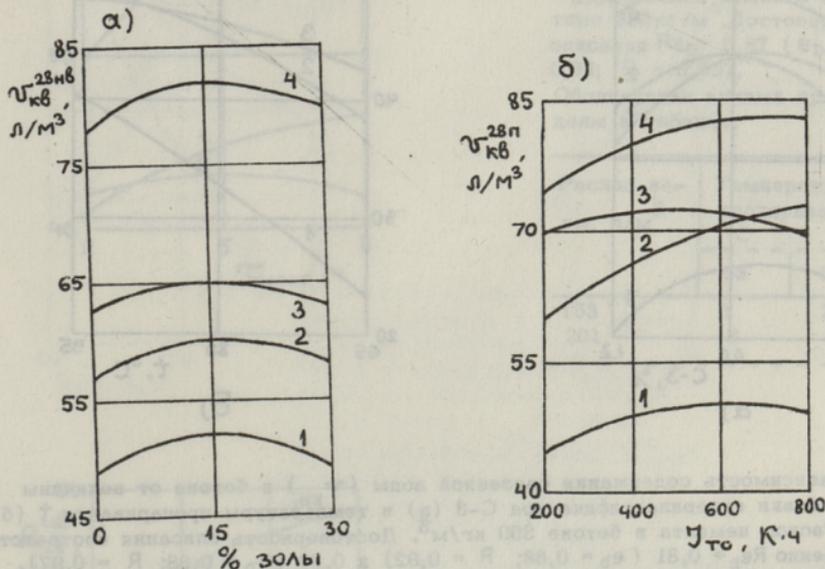


Рис. 4. Зависимость содержания связанной воды ($v_{\text{кв}}^{28}$) в бетоне в возрасте 28 суток от содержания мельчайшей фракции сланцевой золы в портландцементе (а) и интенсивности тепловлажной обработки бетона на сланцевольном портландцементе $J_{\text{тo}}$ (б). Достоверность описания соответственно $R_{eD} = 0,94$ ($e_D = 0,96$; $R = 0,99$) и $0,80$ ($e_D = 0,85$; $R = 0,94$). Обозначения кривых приведены в таблице.

Расход цемента, кг/м ³	Расход воды, л/м ³	
	156	198
256	1	2
453	3	4

водить и к некоторому уменьшению содержания химически связанной воды в бетоне. Если же температуру пропаривания уменьшить до 65°C , то 8 часов изотермической выдержки оказываются недостаточными для достижения максимального уровня связывания воды в бетоне при этой температуре.

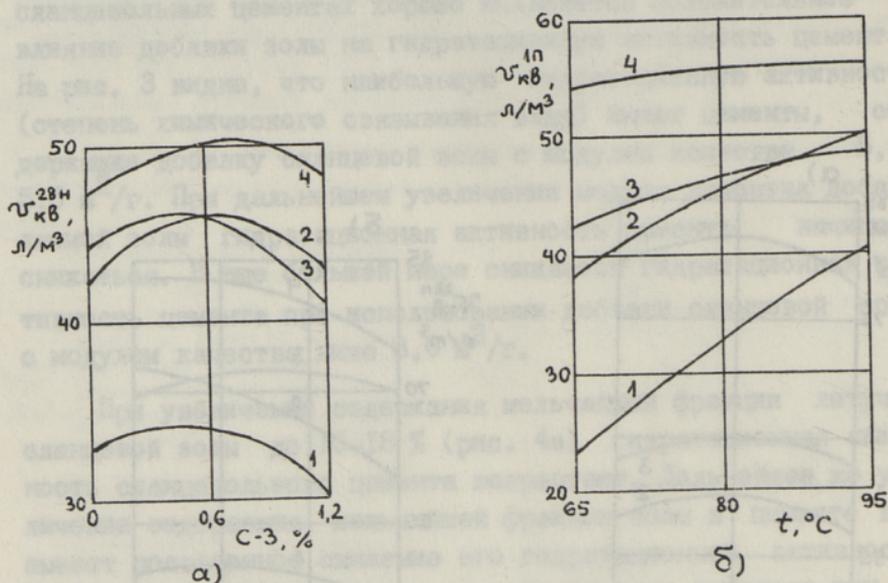


Рис. 5. Зависимость содержания связанной воды ($v_{кв}$) в бетоне от величины добавки суперпластификатора С-3 (а) и температуры пропаривания t (б). Расход цемента в бетоне 350 кг/м^3 . Достоверность описания соответственно $R_{e_D} = 0,81$ ($e_D = 0,88$; $R = 0,92$) и $0,86$ ($e_D = 0,88$; $R = 0,97$). Обозначения кривых приведены в таблице.

Вид цемента	Расход воды, л/м ³	
	188	185
ПЦ	1	3
СзПЦ	2	4

Как видно из рисунка 4б, с увеличением расхода воды в бетонной смеси возрастает не только общее содержание химически связанной воды, но и требуемая интенсивность тепловлажностной обработки, обеспечивающая максимальный уровень химического связывания воды в бетоне.

При рассмотрении влияния содержания химически связанной воды на формирование свойств бетона выясняется, что с увеличением ее содержания прочность бетона при сжатии и при изгибе (рис. 7 и 8а) существенно возрастает. В то же время зависимость морозостойкости от содержания химически

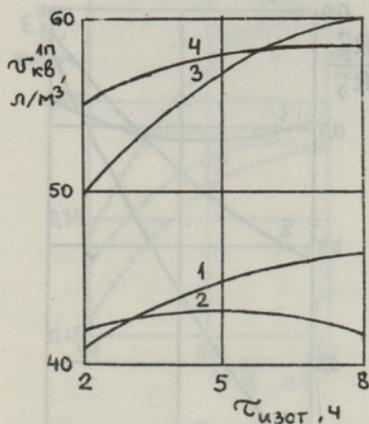


Рис. 6. Зависимость содержания связанной воды (v^{KB}) в пропаренном бетоне в возрасте 1 суток от времени изотермической выдержки $\tau_{\text{изот}}$. Расход цемента в бетоне 350 кг/м^3 . Достоверность описания $Re_D = 0,87$ ($e_D = 0,92$; $R = 0,95$). Обозначения кривых приведены в таблице.

Расход воды, л/м^3	Температура пропаривания, $^{\circ}\text{C}$	
	65	95
153	1	2
201	3	4

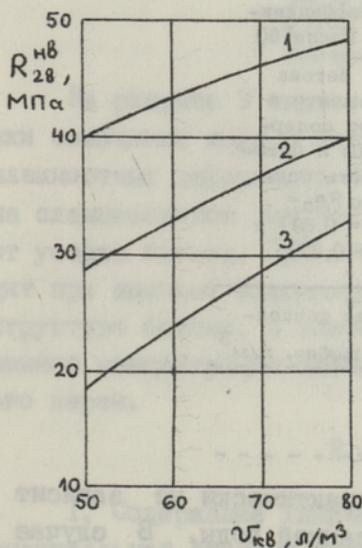


Рис. 7. Зависимость прочности при сжатии R бетона, твердевшего 28 суток в нормальных условиях, от содержания связанной воды в бетоне v^{KB} . Достоверность описания $Re_D = 0,75$ ($e_D = 0,79$; $R = 0,94$).

№ кривой	Содержание микрокапилляров, л/м^3
1	18
2	24
3	30

связанной воды в бетоне (рис. 8б) не столь однозначна. В этом случае большое дополнительное влияние начинает оказывать объемная концентрация крупного заполнителя в бетоне. При малой объемной концентрации щебня и большой раздвижке

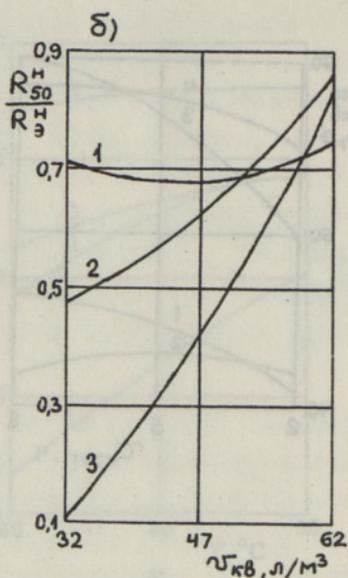
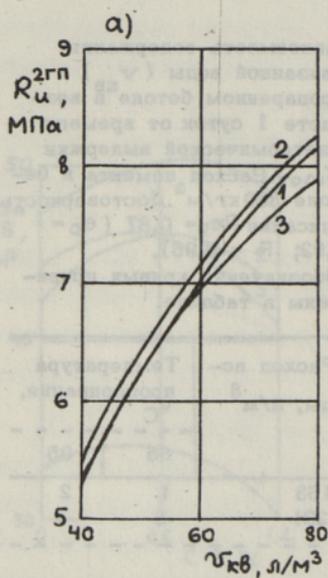


Рис. 8. Зависимость прочности при изгибе R_u (а) и коэффициента морозостойкости после 50 циклов R_{50}^H / R_3^H (б) бетона на сульфатостойком цементе в возрасте двух лет от содержания связанной воды в бетоне $\gamma_{кв}$. Достоверность описания $\gamma_{кв}$ соответственно $Re_D = 0,77$ ($e_D = 0,86$; $R = 0,89$) и $0,73$ ($e_D = 0,84$; $R = 0,87$).

№ кривой	Объемная концентрация щебня, л/м ³
1	450
2	485
3	520

его зерен морозостойкость бетона практически не зависит от содержания в нем химически связанной воды. В случае же высокой объемной концентрации щебня, то есть при контактной структуре бетона, снижение содержания химически связанной воды приводит к значительному понижению морозостойкости бетона. Можно предположить, что это связано с пониженной морозостойкостью зон контакта цементного камня с зернами крупного заполнителя при малом содержании химически связанной воды в бетоне.

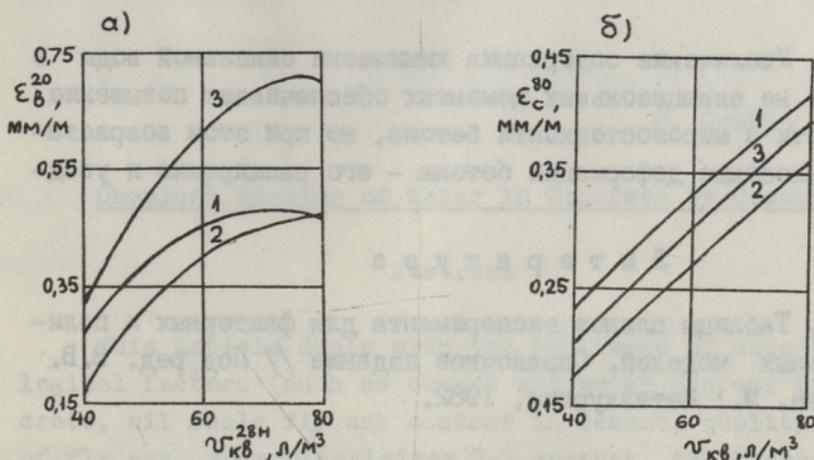


Рис. 9. Зависимость расширения в нормальных условиях ϵ_B^{20} (а) и усадки $\epsilon_с^{80}$ пропаренного при 85°C бетона на сланцезольном цементе (б) от содержания связанной воды в бетоне $\gamma_{кв}$. Достоверность описания соответственно $R_{D_1} = 0,63$ ($e_D = 0,86$; $R = 0,74$) и $0,65$ ($e_D = 0,89$; $R = 0,73$). Номера кривых см. рис. 8.

На рисунке 9 видно, что увеличение содержания химически связанной воды в бетоне влечет за собой увеличение влажностных деформаций бетона – растет расширение бетона на сланцезольном цементе при твердении в воде и возрастает усадка бетона. При этом наибольшее расширение происходит при высокой концентрации щебня, то есть при контактной структуре бетона, а наибольшая усадка, наоборот, при пониженной концентрации щебня в бетоне и большой раздвижке его зерен.

В ы в о д ы

1. Содержание химически связанной воды в бетоне в значительной степени определяется начальным содержанием цементной пасты в бетонной смеси.
2. Зольный компонент обеспечивает более высокую гидратационную активность сланцезольного портландцемента в сравнении с портландцементом.
3. Введение в бетонную смесь суперпластификатора С-3 в оптимальном количестве (0,5–0,7 % от массы цемента) ускоряет гидратацию цемента.

4. Увеличение содержания химически связанной воды в бетонах на сланцезольных цементах обеспечивает повышение прочности и морозостойкости бетона, но при этом возрастают влажностные деформации бетона - его расширение и усадка.

Л и т е р а т у р а

I. Таблицы планов эксперимента для факторных и полиномиальных моделей. Справочное издание // Под ред. В.В. Налимова. М.: Металлургия, 1982.

S. Grabko

Vee keemiline sidumine tsemendiga betoonis

Kokkuvõte

Artiklis käsitletakse seotud vee hulga sõltuvust betoonis tehnoloogilistest teguritest. Uuritakse betooni koostise, plastifikaatori C-3, aurutustemperatuuri ja isotermlisel temperatuuril hoide kestuse mõju seotud vee hulgale betoonis. Näidatakse, et viimane sõltub tsemenditaigna hulgast betoonisegus. Tsemenditaigna hulgaga suureneb oluliselt ka keemiliselt seotud vee maht, tõuseb betooni tugevus ja külmutuskindlus, samal ajal aga intensiivistub ka paisumine ja kahanemine.

Chemical Binding of Water in Concrete by Cement

Abstract

This article deals with the influence of some technological factors (such as cement and water content in concrete, oil shale fly ash content in cement, quality modulus of fly ash, superplasticizer C-3 content, the temperature and time of steam curing at atmospheric pressure) on non-evaporable water content in concrete. It is shown that the greater the cement paste content is, the greater is non-evaporable water content in concrete.

The influence of non-evaporable water volume in concrete and in hardened cement paste on its strength, frost resistance, shrinkage and expansion is also investigated. The strength and frost resistance as well as the deformativity (shrinkage and expansion) of the concrete has been shown to grow together with the water content in it.

ФОРМИРОВАНИЕ МАКРОКАПИЛЛЯРНОЙ ПОРИСТОСТИ
СЛАНЦЕЗОЛЬНО-ПОРТЛАНДЦЕМЕНТНОГО БЕТОНА

Как известно, капиллярная пористость оказывает значительное влияние на свойства бетона, в связи с чем выявление влияния различных технологических факторов на ее формирование представляет несомненный интерес. Данный вопрос для бетонов на основе сланцезольного портландцемента до настоящего времени изучен недостаточно.

В данном исследовании было изучено влияние макрокапилляров на свойства бетона, а также влияние технологических факторов при изготовлении бетона на формирование макрокапиллярной пористости. Содержание макрокапилляров оценивалось с использованием бетонных образцов-кубов со стороной 7 см по формуле $p_k = p_o - p_m$, то есть по разнице между содержанием открытых пор в бетоне (p_o), определяемых по водопоглощению за двое суток высушенных до постоянной массы при 105 °С образцов, и объемом заполненных водой пор (p_m) в образцах, достигающих равновесной влажности при хранении на воздухе с относительной влажностью около 98 %. Для достижения равновесной влажности образцов в этих условиях требуется не менее 28 суток. Как известно [1], в таких условиях происходит удаление воды из макрокапилляров, имеющих величину более 0,2 мкм.

Использованные материалы, составы и условия твердения бетонов, а также методика анализа результатов при проведении данного исследования совпадают с приведенными в статье [2] данного сборника.

Рассмотрим полученные зависимости свойств бетона от содержания макрокапиллярных пор. Из рисунков 1 и 2 видно,

что с увеличением содержания макрокапиллярных пор прочность бетонов на сланцезольных цементах при сжатии и при изгибе, а также морозостойкость бетонов значительно уменьшаются.

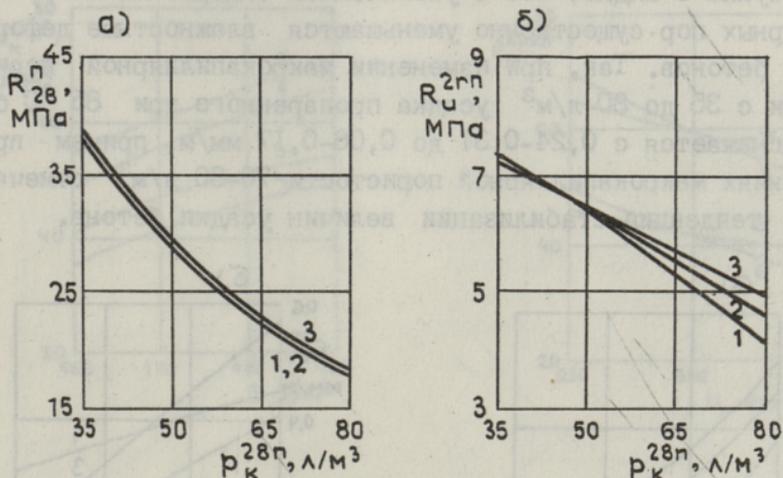


Рис. 1. Зависимость прочности пропаренного при 85 °С бетона на сланцезольном цементе при сжатии R (а) и при изгибе R_u (б) от содержания макрокапиллярных пор p_k в бетоне. Достоверность описания $Re_D = 0,88$ ($e_D = 0,91$; $R = 0,96$).

№ кривой	Объемная концентрация щебня, л/м³
1	450
2	485
3	520

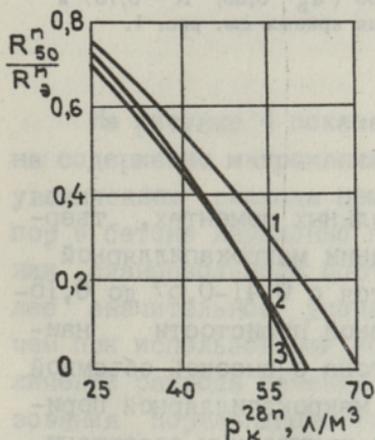


Рис. 2. Зависимость коэффициента морозостойкости R_{50}^n / R_a^n после 50 циклов пропаренного при 85 °С бетона на сланцезольном цементе от содержания макрокапиллярных пор p_k в бетоне. Достоверность описания и обозначения кривых см. рис. 1.

Например, увеличение макрокапиллярной пористости с 35 до 70 л/м³ приводит примерно к двухкратному снижению прочности бетона при сжатии - с 38 до 20 МПа. С другой стороны, из рисунка 3 видно, что с увеличением содержания макрокапиллярных пор существенно уменьшаются влажностные деформации бетонов. Так, при изменении макрокапиллярной пористости с 35 до 80 л/м³ усадка пропаренного при 85 °С бетона снижается с 0,24-0,31 до 0,08-0,17 мм/м, причем при значениях макрокапиллярной пористости 70-80 л/м³ отмечается тенденция стабилизации величин усадки бетона.

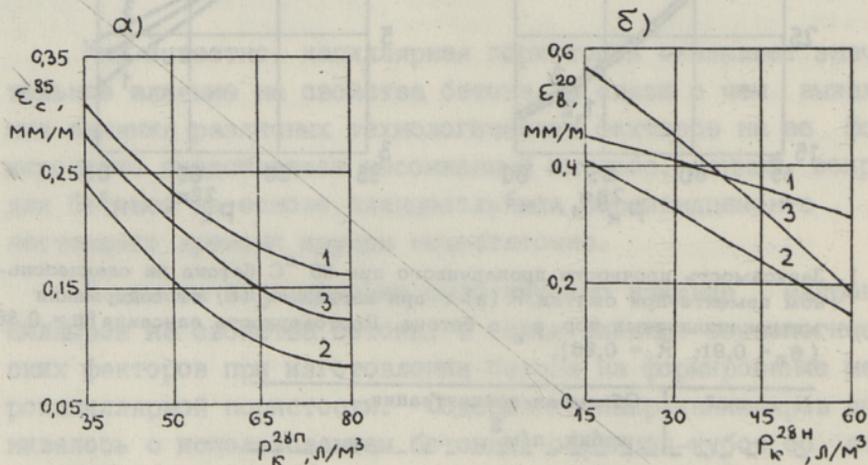


Рис. 3. Зависимость усадки ϵ_c^{85} пропаренного при 85 °С бетона (а) и расширения ϵ_b^{20} бетона на сланцезольном цементе при твердении в воде при 20 °С (б) от содержания макрокапиллярных пор ρ_k в бетоне. Достоверность описания соответственно $Re_D = 0,63$ ($e_D = 0,86$; $R = 0,73$) и $0,68$ ($e_D = 0,92$; $R = 0,74$). Обозначения кривых см. рис. 1.

Расширение бетонов на сланцезольных цементах, твердевших в воде при 20 °С, при изменении макрокапиллярной пористости с 15 до 60 л/м³ снижается с 0,41-0,57 до 0,15-0,31 мм/м. При малой макрокапиллярной пористости наибольшее расширение отмечалось у бетона с высокой объемной концентрацией щебня, а при большей макрокапиллярной пористости - у бетона, характеризующегося пониженным содержанием щебня, то есть повышенной раздвижкой его зерен.

Рассмотрим далее роль технологических факторов в формировании макрокапиллярной пористости бетонов.

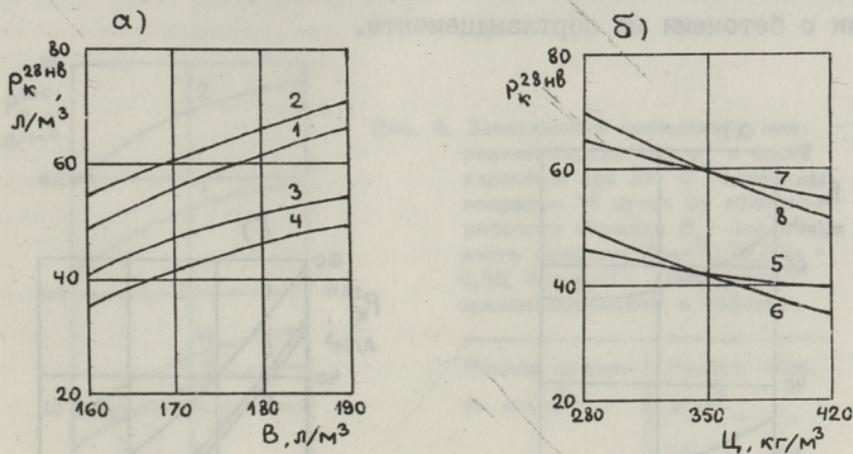


Рис. 4. Зависимость содержания макрокапиллярных пор p_k в бетоне, твердевшем 28 суток в воде, от расхода воды V (а) и цемента Π (б). Достоверность описания $Re_D = 0,94$ ($e_D = 0,96$; $R = 0,98$). Обозначения кривых приведены в таблице.

Вид цемента	Расход цемента, кг/м ³		Расход воды, л/м ³	
	268	441	158	196
ПЦ	1	3	5	7
СзПЦ	2	4	6	8

На рисунке 4 показано влияние расхода воды и цемента на содержание макрокапиллярных пор в бетоне. Как видно, с увеличением расхода цемента содержание макрокапиллярных пор в бетоне неуклонно понижается, причем при использовании сланцезольного портландцемента (СзПЦ) происходит более значительное уменьшение макрокапиллярной пористости, чем при использовании портландцемента (ПЦ). Так, при увеличении расхода цемента с 280 до 420 кг/м³ в случае использования портландцемента макрокапиллярная пористость бетона снижается на 6–10 л/м³, а при использовании сланцезольного портландцемента – на 15–18 л/м³. При расходах цемента

выше 350 кг/м^3 бетоны на сланцезольном портландцементе при том же расходе воды, то есть в условиях большей подвижности смесей, имеют меньший объем макрокапиллярных пор в сравнении с бетонами на портландцементе.

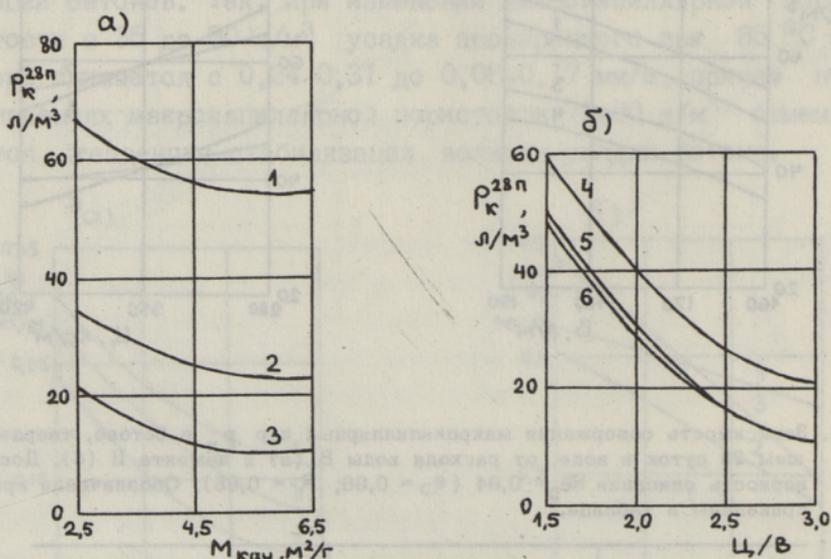


Рис. 5. Зависимость содержания макрокапиллярных пор p_k в пропаренном при 85°C бетоне в возрасте 28 суток от модуля качества добавленной золы в составе сланцезольного цемента $M_{\text{кач}}$ (а) и цементно-водного отношения Ц/В (б). Достоверность описания $Re_D = 0,90$ ($e_D = 0,94$; $R = 0,96$).

№ кривой	Цементно-водное отношение	№ кривой	Модуль качества золы, $\text{м}^2/\text{г}$
1	1,98	4	2,67
2	2,19	5	4,81
3	3,00	6	6,95

Увеличение модуля качества золы в составе сланцезольного цемента (рис. 5а) до значения $M_{\text{кач}} = 5,0-5,5 \text{ м}^2/\text{г}$ приводит к уменьшению макрокапиллярной пористости бетона. Даль-

нейшее же увеличение модуля качества добавляемой к цементу золы практически не влияет на объем макрокапиллярных пор в бетоне.

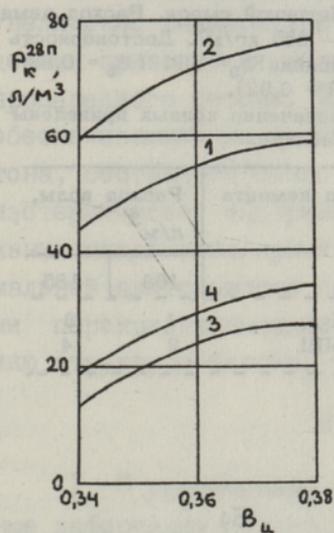


Рис. 6. Зависимость содержания макрокапиллярных пор p_k в пропаренном при $85^{\circ}C$ бетоне в возрасте 28 суток от водопотребности цемента B_c . Достоверность описания $Re_D = 0,86$ ($e_D = 0,88$; $R = 0,97$). Обозначения кривых приведены в таблице.

Расход цемента, кг/м ³	Расход воды, л/м ³	
	151	183
244	1	2
456	3	4

Водопотребность использованных сланцезольных цементов определяется как количеством, так и качеством добавленной золы. Из рисунка 6 видно, что при уменьшении водопотребности используемого цемента (B_c стандартного раствора) с 0,38 до 0,34 макрокапиллярная пористость бетона снижается на 13–16 л/м³.

Весьма значительное влияние на содержание макрокапиллярных пор в бетоне оказывает исходное цементно-водное отношение бетонной смеси (рис. 5б). Увеличение этого показателя с 1,5 до 3,0 приводит к уменьшению макрокапиллярной пористости бетона с 48–60 до 12–22 л/м³.

Как видно из рисунка 7, увеличение расхода добавки суперпластификатора С-3 в бетонной смеси до оптимального уровня приводит к снижению макрокапиллярной пористости бетона на 8–12 л/м³. Дальнейшее же увеличение расхода добавки С-3 вызывает рост макрокапиллярной пористости бетона. Оптимальная добавка С-3, обеспечивающая минимальную макрокапиллярную пористость в бетоне на портландцементе, составляет 0,4–0,6 %, а в бетоне на сланцезольном портландцементе — 0,6–0,7 % от массы цемента.

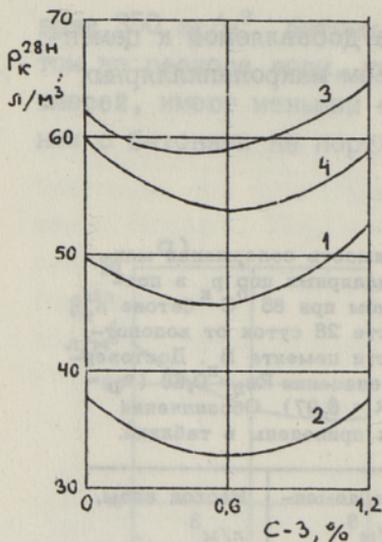


Рис. 7. Зависимость содержания макрокапиллярных пор ρ_k в бетоне нормального твердения в возрасте 28 суток от величины добавки суперпластификатора С-3 в бетонной смеси. Расход цемента - 350 кг/м³. Достоверность описания $Re_D = 0,81$ ($e_D = 0,88$; $R = 0,92$).

Обозначения кривых приведены в таблице.

Вид цемента	Расход воды, л/м ³	
	168	185
ПЦ	1	3
СэПЦ	2	4

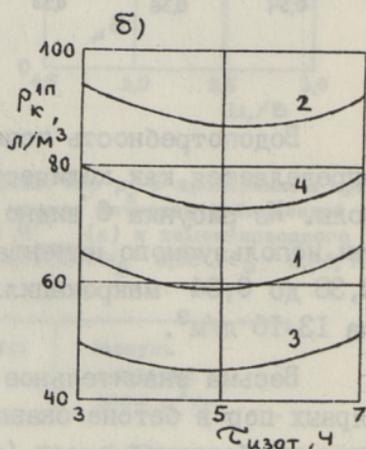
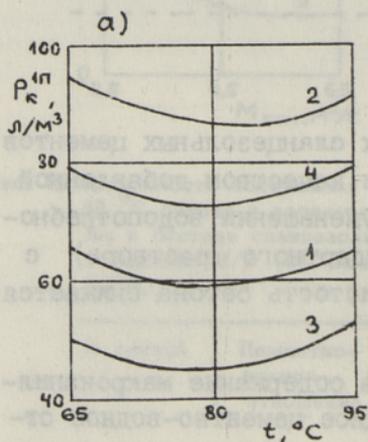


Рис. 8. Зависимость содержания макрокапиллярных пор ρ_k в пропаренном бетоне в возрасте 1 сутки от температуры t (а) и времени изотермической выдержки $\tau_{изот}$ (б). Достоверность описания $Re_D = 0,90$ ($e_D = 0,92$; $R = 0,98$). Обозначения кривых приведены в таблице.

Расход цемента, кг/м ³	Расход воды, л/м ³	
	153	201
244	1	2
465	3	4

Из рисунка 8 видно, что как повышение температуры пропаривания в исследованном диапазоне, так и увеличение длительности изотермической выдержки вначале обеспечивают снижение макрокапиллярной пористости, однако дальнейшее увеличение температуры или длительности изотермической выдержки приводит к увеличению макрокапиллярной пористости пропаренного бетона. Оптимальная температура пропаривания, обеспечивающая минимальную макрокапиллярную пористость бетона, составляет около 80°C , а оптимальная длительность изотермической выдержки - около 5 часов. Увеличение содержания макрокапиллярных пор в бетоне при превышении оптимальной длительности пропаривания можно объяснить процессами перекристаллизации новообразований, ведущими к огрублению структуры бетона.

В ы в о д ы

1. С увеличением содержания макрокапилляров влажностные деформации бетона (усадка и расширение) уменьшаются.
2. Бетоны на сланцезольном портландцементе, содержащем золу с модулем качества $5,0-6,0 \text{ м}^2/\text{г}$, имеют минимальную макрокапиллярную пористость.
3. Введение в бетонную смесь суперпластификатора С-3 в оптимальном количестве ($0,4-0,7\%$ от массы цемента) обеспечивает снижение макрокапиллярной пористости бетона.
4. Оптимальная температура пропаривания, обеспечивающая минимальную макрокапиллярную пористость бетона, составляет около 80°C , а оптимальная длительность изотермической выдержки - около 5 часов.

Л и т е р а т у р а

1. Волженский А.В. Минеральные вяжущие вещества. М.: Стройиздат, 1986.
2. Грабко С.И. Химическое связывание воды цементом в бетоне (см. наст. сб. с. 26).

Põlevkivi-portlandtsementbetooni makrokapillaarse
poorsuse moodustumine

Kokkuvõte

Artiklis uuritakse makrokapillaarsete pooride mõju betooni tugevusele, külmutuskindlusele, kahanemisele ja paisumisele. Näidatakse, et makrokapillaarsete pooride arvu suurenedes väheneb oluliselt betooni paisumine ja kahanemine.

Käsitletakse ka tehnoloogiliste tegurite (tsemendi, vee ja tuha hulga, tuha kvaliteedi, superplastifikaatori C-3, aurutustemperatuuri ja isotermilise hoide aja) mõju makrokapillaarsete pooride tekkele. Näidatakse, et viimane sõltub kõige enam tsemendi ja vee suhtest. Antud suhte suurenemisel makrokapillaarsete pooride hulk betoonis oluliselt väheneb. Vähim on see betooni aurutamisel $+80^{\circ}\text{C}$ juures 5 tunni vältel.

Formation of Macropillar Porosity of Oil-Shale
Fly-Ash Portland Cement Concrete

Abstract

The influence of macropillar pores on strength, frost resistance, shrinkage and expansion of concrete has been dealt with. It is shown that the greater is the volume of macropillar pores, the lower is the shrinkage and expansion of concrete.

The influence of some technological factors (e.g. cement and water content in concrete, oil-shale fly-ash content in cement, quality moduls of fly-ash, superplasticizer C-3 content, the temperature and duration of steam curing at atmospheric pressure) on the formation of macropillar porosity of oil-shale fly-ash portland cement concrete is also investigated. It has been established that the initial cement - water ratio of mixture influences mostly the volume of macropillar pores in concrete. The greater the ratio is, the lower is the content of macropillar pores. The minimum volume of porosity has been achieved by 5-hour isothermal curing at about 80 °C.

Р.Х. Пунтсо

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СУПЕРПЛАСТИФИКАТОРА
С-3 В СЛАНЦЕЗОЛЬНО-ПОРТЛАНДЦЕМЕНТНЫХ БЕТОНАХ

Важным направлением в технологии цементного бетона является увеличение производства высокопрочных бетонов с одновременной экономией цемента. Решение данной задачи зависит не только от использованного цемента, но и от природы и качества заполнителей бетона.

Часто зерновой состав заполнителя не соответствует предъявляемым требованиям, крупный заполнитель загрязнен пылью и глинистыми примесями, песок мелкий и содержит органические примеси. Отклонения качества заполнителей от требуемого уровня приводят к увеличению водопотребности и снижению прочности бетона. Недобор прочности из-за недостатков технологии бетона обычно компенсируется путем увеличения расхода цемента. В то же время цементный завод "Пунане Кунда", в настоящее время объединение "Ээсти цемент", находится в весьма сложном положении и производство строительных материалов в республике ощущает нехватку цемента.

В связи с этим все более важное место занимает использование в технологии бетона пластифицирующих добавок, которые позволяют оперативно компенсировать вышеизложенные негативные явления и тем самым экономить цемент.

Среди пластифицирующих добавок перспективными являются так называемые суперпластификаторы. Впервые суперпластификаторы были запатентованы в качестве добавок в 1935 году, но широкое применение в технологии бетона они получили в 60-х годах в ФРГ и в Японии, где в технологии бетона используются такие хорошо известные суперпластификаторы, как "Melment" и "Mighty".

Данные о применении в СССР суперпластификаторов впервые появились в 1976 году. Разработан ряд суперпластификаторов на основе меламина - IO-03, НИЛ-IO, ВС (МФАС-Р-100-л) и на основе нафталина - С-3, 30-03 и др. Одним из более перспективных среди данных суперпластификаторов является С-3, который производится промышленно. Из ближайших к нашей республике заводов, которые производят С-3, можно назвать Кингисеппский завод ЖБК Ленинградской области, Ионовский ЖБК Литовской ССР, Елгавский завод строительных материалов и конструкций Латвийской ССР.

Эффективность применения суперпластификаторов в технологии цементного бетона может колебаться в довольно широких пределах. Это зависит от происхождения пластификатора - его технологии изготовления и свойств исходных компонентов; от свойств заполнителей бетона - происхождения, зернового состава, чистоты, технологии изготовления бетонной смеси - метода дозирования добавки, метода и времени смешивания бетонной смеси.

Среди выше названных факторов одним из важнейших является химико-минералогический состав использованного цемента.

Основным цементом в производстве железобетонных изделий и конструкций республики является сланцезольный портландцемент, который по своему составу существенно отличается от состава портландцемента. Клинкер НПО "Эсти цемент" характеризуется высоким содержанием щелочных сульфатов - в пересчете на SO_3 их содержание превышает обычно 1,0%. В мельчайшей фракции летучей золы сланца-кукерсита содержатся растворимые щелочные сульфаты - в пересчете на SO_3 0,5-1,0%. Введение гипса при помоле сланцезольного портландцемента не производится. Кроме того, зола содержит в повышенном количестве свободную известь - 8-10%. В связи с изменением химико-минералогического состава оптимальный расход суперпластификатора С-3 при использовании этого цемента увеличивается на 0,1-0,2% в сравнении с портландцементом и составляет 0,6-0,8% сухого вещества добавки от массы цемента. При этом не отмечается существенного торможения гидратации цемента. Если при использовании сланцезольного портландцемента начало схватывания цементной пас-

ты удлиняется в среднем на 0,5 часа, то при использовании портландцемента данный показатель составит 1,5–2,0 часа. С добавкой С-3 вовлекается значительное количество воздуха в бетонную смесь, что является одной из главных причин колебания прочностных и стойкостных показателей бетона. При одновременном действии нескольких отрицательных причин, оказывающих влияние на эффективность действия суперпластификатора – малый расход цемента, загрязненные заполнители, кратковременное и интенсивное перемешивание бетонной смеси может привести к такому значительному вовлечению воздуха, при котором отмечается незначительный прирост прочности бетона равноподвижной бетонной смеси при введении суперпластификатора С-3. Цели применения СП С-3 в технологии бетона могут быть разные. Так, можно увеличить удобоукладываемость бетонной смеси на 9–14 см, без снижения прочностных показателей бетона. При этом снижается трудоемкость бетонирования и экономится электроэнергия при формировании изделий.

Можно также при повышенной на 4–8 см удобоукладываемости бетонной смеси производить бетоны повышенной прочности на 4–5 МПа или бетоны повышенной прочности на 9–15 МПа при равной степени удобоукладываемости смесей.

В двух последних случаях можно экономить цемент. Степень экономии зависит от состава бетона, главным образом, от расхода цемента в бетоне.

В таблице приведены средние значения увеличения воздухоудержания равноподвижной смеси, прироста прочности бетона и экономии цемента для равнопрочных бетонов с применением добавки СП С-3 0,6–0,8 %, при удобоукладываемости 6–8 см, при нормальном твердении и при пропаривании при +80 °С по режиму 2+3+6+2 часа.

При меньших расходах цемента, 240–300 кг/м³, в связи с большим воздухоудержанием в бетонную смесь в присутствии СП С-3, приросты прочности и полученная за счет этого экономия цемента незначительна, но при этом в значительной мере улучшаются стойкостные свойства бетонов. При использовании портландцемента за счет применения СП С-3 воздухоудержание бетонной смеси повышается в среднем на 6 %, прирост прочности при нормальном твердении в воз-

Т а б л и ц а

Средние значения снижения водопотребности и увеличения воздухоудержания равноподвижной бетонной смеси, прироста прочности бетона и возможной экономии цемента в равнопрочных бетонах. Удобоукладываемость бетонных смесей 6-8 см, расход суперпластификатора С-3 0,6-0,8 %

Использованный цемент	Расход цемента, кг/м ³	Увеличение содержания воздуха, %	Увеличение прочности бетона нормального твердения в возрасте 28 сут, МПа	Увеличение прочности бетона при пропаривании при +80 °С по режиму 2+3+6+2 часа, МПа в возрасте		Экономия цемента в равнопрочном бетоне нормального твердения, кг/м ³	Экономия цемента в равнопрочном бетоне при пропаривании, кг/м ³
				I сут	28 сут		
Сланцезольный портландцемент	240-300	5	8	6	7	55	50
	300-360	3	12	10	11	70	65
	360-420	2	13	11	12	80	75
	> 420	1	15	13	14	95	90
Портландцемент	240-300	6	7	3	4	50	25
	300-360	4	11	5	8	65	40
	360-420	3	12	6	9	70	45
	> 420	2	14	8	11	90	60

расте 28 суток составляет 7 МПа, при пропаривании в возрасте I и 28 суток соответственно 3 и 4 МПа. Экономия цемента при нормальном твердении составляет 50 кг, при пропаривании - 25 кг на I м³ бетона.

При использовании сланцезольного портландцемента, в связи с меньшим воздухововлечением и менее заметным торможением гидратации цемента при применении СП С-3, отмечается на I МПа при нормальном твердении и на 4 МПа при пропаривании больше прироста прочности в сравнении с портландцементным бетоном. При нормальном твердении в возрасте 28 суток прирост прочности составляет 8 МПа, при пропаривании в возрасте I и 28 суток данные показатели составили соответственно 6 и 7 МПа. При этом экономия цемента при нормальном твердении составляет 55 кг и при пропаривании - 50 кг цемента на I м³ бетона.

При средних и высоких расходах цемента 300-360 и 360-420 кг/м³ введение СП обеспечивает улучшение прочностных показателей бетона. Поскольку воздухововлечение не столь существенно, улучшение стойкостных свойств бетона не является главным эффектом применения СП.

При использовании портландцемента воздуходержание бетонной смеси повышается на 3-4 %, прирост прочности при нормальном твердении в возрасте 28 суток составляет II-12 МПа, а при пропаривании в возрасте I и 28 суток - соответственно 5-6 и 8-9 МПа. Экономия цемента при нормальном твердении составляет 65-70 кг и при пропаривании - 40-45 кг на I м³ бетона.

При использовании сланцезольного портландцемента за счет СП вовлекается 2-3 % воздуха; прирост прочности при нормальном твердении в возрасте 28 суток составляет I2-I3 МПа и при пропаривании в возрасте I и 28 суток соответственно I0-II и II-I2 МПа. Экономия цемента при нормальном твердении составляет 70-80 кг, при пропаривании - 65-75 кг на I м³ бетона.

При расходе цемента свыше 420 кг/м³ заметного повышения эффективности СП с точки зрения улучшения прочностных показателей бетона не отмечается. При использовании портландцемента воздуходержание бетонной смеси повышается на

2 %, прирост прочности при нормальном твердении в возрасте 28 суток составляет 14 МПа, при пропаривании в возрасте I и 28 суток соответственно 8 и 11 МПа. Экономия цемента при нормальном твердении составляет 90 кг, при пропаривании - 60 кг на 1 м³ бетона.

При использовании сланцезольного портландцемента за счет добавки СП вовлекается 1 % воздуха, прирост прочности при нормальном твердении в возрасте 28 суток составляет 15 МПа, при пропаривании в возрасте I и 28 суток - соответственно 13 и 14 МПа. Экономия цемента при нормальном твердении составляет 95 кг, при пропаривании - 90 кг на м³ бетона.

Эффективность СП С-3 при использовании добавок с разных заводов изготовителей может колебаться по прочности не более чем на 3-4 МПа. Эффективность СП зависит как от удобоукладываемости бетонной смеси, так и от природы и чистоты заполнителей бетона. При повышении ОК бетонной смеси на 1 см прирост прочности бетона под влиянием СП С-3 повышается в среднем на 0,8 МПа. Бетоны, изготовленные на гранитном щебне, дают в среднем на 5 МПа большие приросты прочности при введении СП по сравнению с бетонами на известняковом щебне. Заметное влияние на эффективность СП оказывает чистота использованных заполнителей. Если в случае бездобавочного бетона 1 % глинистых частиц и пыли снижает прочность бетона в среднем на 5 МПа, то в случае бетона с добавкой СП прочность бетона снижается в среднем на 7 МПа.

Перспективным направлением использования СП С-3 в технологии бетона является применение последнего в комплексных добавках. Наилучшие результаты показывают комплексные добавки 0,6-0,8 % С-3 + 0,01-0,015 % СНВ, при применении которых можно производить высокопрочные бетоны высокой стойкости.

Superplastifikaatori C-3 kasutamise võimalustest
põlevkivituhk-portlandtsementbetoonides

Kokkuvõte

Töös vaadeldakse superplastifikaatori C-3 kasutamise võimalusi jämedateralistes põlevkivituhk-portlandtsementbetoonides. Superplastifikaatori C-3 kasutamise tõhusus kõigub küllalt suurtes piirides ja sõltub suuresti lisandi toimel sisseviidavast õhukogusest. Väiksematel tsemendihulkadel ($240-300 \text{ kg/m}^3$) suureneb lisandi C-3 toimel tunduvalt õhusisaldus, tugevuse juurdekasv ja selle arvel saadav tsemendisääst on tagasihoidlik. Õhusisalduse suurenedes paranevad aga tunduvalt betooni püsivusomadused. Keskmistel ja suurematel tsemendihulkadel ($300-360$ ja $360-420 \text{ kg/m}^3$) pole õhu sisseviimine lisandi toimel nii tuntav ja superplastifikaatori efektiivsus seisneb pigem tugevusomaduste paranesemises. Lisandi mõju sõltub suuresti täitematerjali puhtuse astmest. Paremaid tugevusnäitajaid on võimalik saavutada savi- ja tolmuabamate graniitkivikillustike kasutamisel.

Possibilities of Using Superplasticizer C-3 in
Concretes of Oil-Shale Fly-Ash Portland Cement

Abstract

Usage of superplasticizer C-3 in coarse aggregate concretes is discussed in the article. Fly-ash portland cement was used as a binder. Efficiency of superplasticizer C-3 deviates with the air entrainment of the concrete. In concretes with smaller cement amounts (about $240 - 300 \text{ kg/m}^3$), air entrainment is higher due to C-3. So the increase of strength and the economy of binder is not very great. But air entrainment improves the durability of concrete. Concretes with medium and high cement amounts ($300 - 360$ and $360 - 420 \text{ kg/m}^3$) do not have so much entrained air, so the improvement of strength properties is more beneficial. Efficiency of C-3 is strongly influenced by the purity of aggregates. Better results were achieved with granite aggregates that are clean from dust and clay.

СТОЙКОСТЬ ПРОПАРИВАЕМЫХ БЕТОНОВ С ДОБАВКАМИ
ФРАКЦИЙ ЛЕТУЧИХ ВЫСОКОКАЛЬЦИЕВЫХ ЗОЛ

Введение

В настоящей статье рассматривается стойкость бетонов, полученных с использованием как сланцевой золы (Сз), так и бурогоугольной золы (Бз). Стойкость бетона определяется свойствами компонентов, технологией и условиями эксплуатации бетона. В проведенных исследованиях изучалась стойкость бетонов, при изготовлении которых использовался портландцемент, полученный на основе клинкера с повышенным содержанием щелочей.

Затруднения при использовании зол в бетонах могут быть вызваны различием физико-химических свойств золы. Наибольшее влияние на стойкость полученных бетонов оказывает содержание сульфатов и $\text{CaO}_{\text{св}}$, содержащихся в золе. При изготовлении портландцемента (ПЦ) и сланцевозольного портландцемента (СзПЦ) содержание сульфатов регулируется соответственно количеством вводимого гипса или мельчайшей фракции летучей сланцевой золы (МФЛСз). При добавлении 30-40 % МФЛСз к бетону содержание сульфатов в вяжущем может достигнуть 5-6 %. Содержание и тонкость $\text{CaO}_{\text{св}}$ должны быть оптимальными, то есть не должно происходить слишком быстрого гашения извести, приводящего к потере подвижности, или слишком позднего, вызывающего неравномерное изменение объема цементного камня.

Экспериментальная часть

Портландцемент был изготовлен лабораторным помолком с использованием клинкера НПО "Ээсти цемент". Минералогический состав клинкера приведен в таблице I.

Минералогический состав клинкера

Клинкер	Минералогический состав, %				Содержание, %	
	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF	K_2O+Na_2O	$CaSO_4$

НПО "Ээсти цемент"	58,0	14,0	7,0	13,0	1,62	1,93
--------------------	------	------	-----	------	------	------

Общее содержание сульфатов в лабораторном ПЦ было доведено до 3,5 % добавкой гипса.

Используемый клинкер имел высокое содержание щелочей. Клинкер с таким химическим составом был взят специально, так как именно высокое содержание щелочных сульфатов определяет кинетику образования этtringита в цементном камне. Ожидалось, что вяжущее на высокощелочном клинкере позволит нагляднее исследовать послепропарочную стойкость бетонов.

В качестве добавок к бетонам использовали фракции электрофильтровых летучих зол и сланца-кукерсита и бурого угля.

Пробы Сз были отобраны на Прибалтийской ГРЭС, проба Бз с Назаровской ГРЭС.

Характеристики применяемых зол приведены в таблице 2.

Т а б л и ц а 2

Характеристика зол

Обозначение золы	$CaO_{св.}$ %	SO_3 , %	Уд.поверхн., $м^2/кг$
Сз-1	8,4	9,47	393
Сз-2	9,1	7,35	298
Бз	3,5	6,40	300

Стойкость портландцемента определяли на образцах из мелкозернистого песчаного бетона состава 1:3 (вяжущее:Вольский песок) размерами 4x4x16 см. Образцы были снабжены реперами для измерения удлинения при помощи индикаторов часового типа. При приготовлении растворов 1:3 использовали 10, 40%-ную замену ПЦ сланцевой золой. При изготовлении образцов сначала дозировали песок, затем цемент и золу, производили сперва сухое перемешивание, затем с водой затворе-

ния. Все последующие действия с образцами 1:3 выполняли по методике ГОСТ 310.4-76 [1]. Расплав конуса на встряхивающем столике удерживался в пределах 113...115 мм. Пропаривание производили по режиму 2+3+6+2 часа при температурах 85 и 95 °С.

Пропаривание при температуре 95 °С проводили для скорейшего выявления коррозии, вызываемой образованием вторичного этtringита. После пропаривания образцы хранились во влагонасыщенном воздухе и в воде.

У образцов измеряли линейное расширение и динамический модуль упругости. Часть образцов, твердевших во влагонасыщенном воздухе, была испытана на прочность в возрасте 1 и 28 суток.

Крупнозернистые бетоны изготовляли с расчетным количеством компонентов: вяжущего 300 кг/м³, щебня 1200 кг/м³, песка 800 кг/м³. При дозировке ПЦ 10-40 % его заменяли золой. В качестве заполнителя использовали и известняковый щебень фракции 5-20 мм с плотностью зерен 2,80 т/м³, насыпной плотностью 1,37 т/м³ и пустотностью 51,0 %, кварцевый песок карьера "Мяники" с $M_k = 2,1$. Смеси готовили в лабораторной бетономешалке, сначала производили сухое перемешивание компонентов, затем с водой затворения. Объем каждого замеса составлял 20 л. Были изготовлены кубы размерами 10x10x10 см, которые испытывались при нормальном твердении во влагонасыщенном воздухе в возрасте 7 и 28 суток и после пропаривания при температуре 85 °С с последующим твердением во влагонасыщенном воздухе в возрасте 1, 28 суток и 6 месяцев. Кроме этого, были изготовлены образцы 7x7x28 см с 20%-ной заменой ПЦ золой, часть которых твердела в воде, часть во влагонасыщенном воздухе. У этих образцов измеряли линейное расширение и динамический модуль упругости. Фазовый состав цементного камня образцов 1:3 определялся в возрасте 9 месяцев на дифрактометре ДРОН-1 с применением $Cu K_{\alpha}$ - излучения. Цементный камень отделяли дроблением образцов и последующим высеиванием его из пробы.

По рентгенограмме производили качественный анализ кристаллических сред. При помощи электронно-микроскопических исследований на микроскопе "TESLA-300" изучали характер новообразований в образцах.

Прочность образцов, пропаренных при температуре 85 °С и 95 °С приведена в таблице 3. Выбор только 10 и 40 % добавки золы обоснован целью изучить стойкость образцов при наиболее различающихся количествах золы в бетоне. Зависимость прочности от количества золы более подробно рассмотрена ранее [5]. Несмотря на приемлемые прочностные характеристики, следует учесть, что прочность образцов зависит от расширения при пропаривании, упрочняющего образцы. По данным В.Х. Кикаса [6], прочность при свободном расширении во время пропаривания может быть меньше на 20 % в случае 1 % расширения и на 50 % меньше при 2 % свободного расширения. Прочность образцов не понижалась при использовании до 30 % замены ПЦ золой. При замене золой 40 % ПЦ понижение прочности при сжатии в возрасте 28 суток составило 3-7 % по сравнению с беззолным бетоном.

Измерения, произведенные при долговременном твердении образцов, свидетельствуют о снижении стойкости. В таблицах 4 и 5 представлены данные по удлинению образцов и изменению динамического модуля упругости. Во всех случаях расширение к 9-му месяцу превысило 2 мм/м. Однако понижение модуля упругости отмечено у образцов на вяжущем из 100 % ПЦ и при использовании 10 % золы.

Т а б л и ц а 3

Прочность образцов

Состав вяжущего	В/Ц	Прочность образцов, МПа			
		при изгибе		при сжатии	
I	2	I сут.	28 сут.	I сут.	28 сут.
ТВО 85 °С					
100 % ПЦ	0,380	4,8	5,7	36,4	49,8
90% ПЦ+10% Сз-1	0,360	4,6	5,6	38,0	51,9
90% ПЦ+10% Сз-2	0,360	5,9	6,0	36,1	51,2
60% ПЦ+40% Сз-1	0,325	5,2	5,7	36,2	54,0
60% ПЦ+40% Сз-2	0,325	5,1	5,2	30,1	48,2
ТВО 95 °С					
100 % ПЦ	0,380	5,3	5,9	34,0	47,2
90% ПЦ+10% Сз-1	0,360	5,7	6,1	37,8	48,2

I	2	3	4	5	6
90% ПЦ+10% Сз-2	0,360	5,4	5,9	37,4	48,0
60% ПЦ+40% Сз-I	0,325	5,6	6,5	37,4	46,6
60% ПЦ+40% Сз-2	0,325	5,2	6,1	36,1	44,2

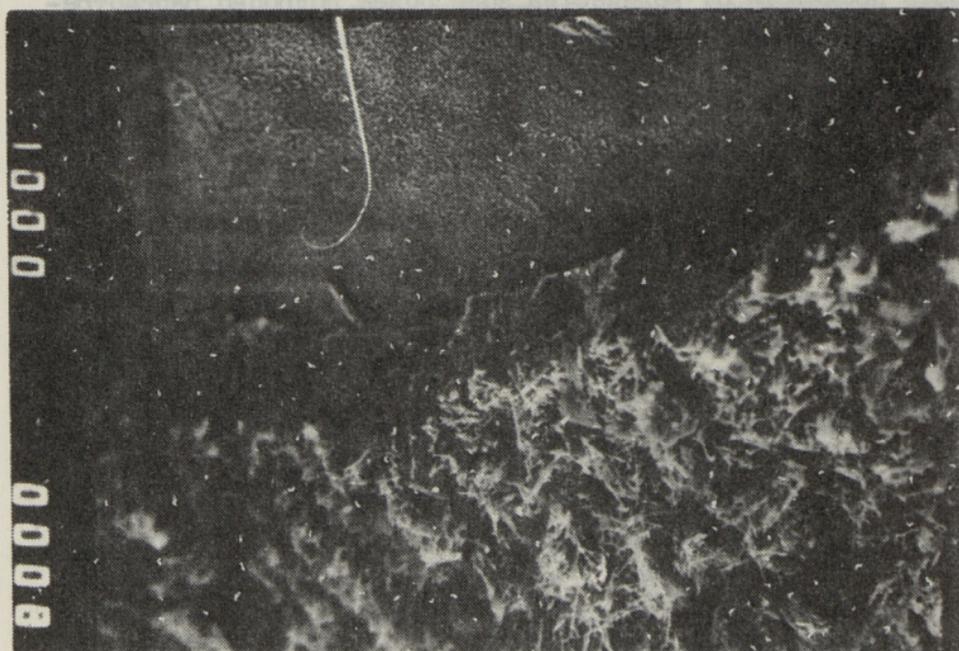


Рис. 1. Электронная микрофотография при увеличении в 1000 раз. Граница песчинки и цементного камня. 40% Сз-2, ТВО 95 °С, твердение в воде.

По данным испытаний образцов на вяжущем из ПЦ и Сз видно, что коррозия проявляется в зависимости от температуры пропаривания в возрасте 2-9 месяцев. При использовании 10 % замены ПЦ золой признаки коррозии проявляются в те же сроки, а 40 % замены за 9 месяцев твердения признаков коррозии обнаружено не было. Отсутствие признаков коррозии в последнем случае можно объяснить пониженным соотношением воды и вяжущего ($B/C = 0,325$), за счет чего уменьшается пористость и увеличивается водонепроницаемость. На рисунках 1 и 2 представлены электронно-микроскопические



Рис. 2. Электронная микрофотография при увеличении в 1000 раз. Между песчинкой и цементным камнем видны новообразования. 10% СЗ-2. ТВО 95 °С, твердение в воде.

снимки корродировавшего и стойкого образцов. В случае корродирующего образца видны новообразования на границе песчинок и цементного камня. В случае стойких образцов подобные структуры замечены не были. Рентгенофазовый анализ (рис. 3) показал основное различие в содержании гидроксида кальция СН и эттрингита. В случае 40 % золы Сз-2 пики СН менее интенсивны. Это связано с пуццолановым твердением золы, при котором стеклофазой связывается СН, образующийся при гидратации клинкерных минералов и $\text{CaO}_{\text{св}}$ содержащийся в золе [2].

Коррозия возникает предположительно из-за возникновения вторичного эттрингита, который образуется по мере растворения щелочных сульфатов в водной среде. Растворение щелочных сульфатов приводит к росту растворимости ионов Ca^+ , которые связываются в эттрингит [3, 4].

Т а б л и ц а 4

Расширение образцов, мм/м*

Состав вяжущего	В о з р а с т							
	7 сут.	14 сут.	21 сут.	28 сут.	2 мес.	3 мес.	6 мес.	9 мес.
ТВО 85 °С								
100 % ПЦ	<u>0,21</u> 0,14	<u>0,21</u> 0,14	<u>0,28</u> 0,14	<u>0,28</u> 0,14	<u>0,28</u> 0,14	<u>0,28</u> 0,14	<u>0,43</u> 0,29	<u>0,79</u> 0,29
90 % ПЦ + +10 % Сз-1	<u>0,29</u> 0,07	<u>0,29</u> 0,07	<u>0,35</u> 0,14	<u>0,35</u> 0,14	<u>0,43</u> 0,21	<u>0,57</u> 0,21	<u>1,86</u> 0,29	<u>4,07</u> 0,43
90 % ПЦ + +10 % Сз-2	<u>0,28</u> 0,07	<u>0,36</u> 0,14	<u>0,43</u> 0,14	<u>0,43</u> 0,14	<u>0,71</u> 0,14	<u>2,0</u> 0,21	<u>6,21</u> 0,34	<u>7,29</u> 0,42
60 % ПЦ + +40 % Сз-1	<u>1,14</u> 0,21	<u>1,21</u> 0,21	<u>1,29</u> 0,21	<u>1,29</u> 0,21	<u>1,36</u> 0,21	<u>1,63</u> 0,28	<u>1,43</u> 0,36	<u>1,50</u> 0,43
60 % ПЦ + +40 % Сз-2	<u>0,29</u> 0,21	<u>0,29</u> 0,21	<u>0,35</u> 0,29	<u>0,75</u> 0,29	<u>0,71</u> 0,29	<u>0,79</u> 0,29	<u>0,86</u> 0,29	<u>0,93</u> 0,36
ТВО 95 °С								
100 % ПЦ	<u>0,14</u> 0,00	<u>0,21</u> 0,00	<u>0,29</u> 0,07	<u>0,29</u> 0,07	<u>0,57</u> 0,07	<u>1,86</u> 0,14	<u>9,50</u> 0,21	<u>18,14</u> 0,29
90 % ПЦ + +10 % Сз-1	<u>0,29</u> 0,00	<u>0,29</u> 0,07	<u>0,35</u> 0,07	<u>0,35</u> 0,14	<u>1,07</u> 0,14	<u>6,57</u> 0,29	<u>15,64</u> 0,64	<u>16,29</u> 4,93
90 % ПЦ + +10 % Сз-2	<u>0,21</u> 0,00	<u>0,29</u> 0,07	<u>0,29</u> 0,07	<u>0,35</u> 0,07	<u>0,50</u> 0,14	<u>7,60</u> 0,14	<u>14,93</u> 0,69	<u>15,5</u> 4,50
60 % ПЦ + +40 % Сз-1	<u>0,52</u> 0,21	<u>0,74</u> 0,21	<u>1,07</u> 0,29	<u>1,36</u> 0,29	<u>2,29</u> 0,36	<u>3,07</u> 0,50	<u>4,43</u> 0,64	<u>5,57</u> 2,21
60% ПЦ + +40 % Сз-2	<u>0,35</u> 0,21	<u>0,35</u> 0,07	<u>0,49</u> 0,07	<u>0,57</u> 0,07	<u>0,86</u> 0,14	<u>1,07</u> 0,21	<u>1,14</u> 0,36	<u>1,14</u> 0,43

* — " — в воде
 — " — во влагонасыщенном воздухе.

Динамический модуль упругости*

Состав вяжущего	Динамический модуль упругости, Е $\times 10^{-4}$ МПа									
	1 сут.	7 сут.	14 сут.	21 сут.	28 сут.	2 мес.	3 мес.	6 мес.	9 мес.	10 мес.
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	

ТВО 85 °С

100 % ПЩ $\frac{3,59}{3,63}$ $\frac{3,67}{3,91}$ $\frac{3,89}{3,96}$ $\frac{4,00}{4,117}$ $\frac{4,12}{4,24}$ $\frac{4,22}{4,35}$ $\frac{4,28}{4,43}$ $\frac{4,33}{4,53}$ $\frac{4,32}{4,54}$

90 % ПЩ +
+ 10 % Сз-1 $\frac{3,75}{3,72}$ $\frac{4,06}{3,79}$ $\frac{4,10}{4,03}$ $\frac{4,37}{4,17}$ $\frac{4,39}{4,32}$ $\frac{4,36}{4,46}$ $\frac{4,61}{4,55}$ $\frac{4,62}{4,61}$ $\frac{3,8}{4,7}$

90 % ПЩ +
+ 10 % Сз-2 $\frac{3,84}{3,86}$ $\frac{3,93}{3,98}$ $\frac{4,16}{4,16}$ $\frac{4,27}{4,34}$ $\frac{4,35}{4,38}$ $\frac{4,52}{4,72}$ $\frac{4,38}{4,85}$ $\frac{3,87}{4,94}$ $\frac{3,97}{5,01}$

60 % ПЩ +
+ 40 % Сз-1 $\frac{3,68}{3,75}$ $\frac{4,05}{4,00}$ $\frac{4,18}{4,44}$ $\frac{4,28}{4,56}$ $\frac{4,44}{4,60}$ $\frac{4,56}{4,76}$ $\frac{4,71}{4,85}$ $\frac{4,71}{4,95}$ $\frac{4,82}{4,96}$

60 % ПЩ +
+40 % Сз-2 $\frac{3,65}{3,48}$ $\frac{3,83}{3,58}$ $\frac{4,20}{3,92}$ $\frac{4,37}{4,12}$ $\frac{4,44}{4,29}$ $\frac{4,36}{4,39}$ $\frac{4,65}{4,57}$ $\frac{4,75}{4,67}$ $\frac{4,80}{4,72}$

ТВО 95 °С

100 % ПЩ $\frac{3,43}{3,33}$ $\frac{3,45}{3,37}$ $\frac{3,68}{3,62}$ $\frac{3,70}{3,64}$ $\frac{3,77}{3,41}$ $\frac{3,55}{4,01}$ $\frac{3,31}{4,10}$ $\frac{3,02}{4,10}$ $\frac{2,98}{4,07}$

Продолжение табл. 5

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10
90 % III + + 10 % Cз-1	$\frac{3,08}{3,55}$	$\frac{3,15}{3,75}$	$\frac{3,42}{3,82}$	$\frac{3,54}{3,75}$	$\frac{3,55}{3,76}$	$\frac{3,39}{3,87}$	$\frac{2,78}{3,86}$	$\frac{2,66}{3,76}$	$\frac{2,72}{2,72}$
90 % III + + 10 % Cз-2	$\frac{2,70}{2,80}$	$\frac{2,94}{3,16}$	$\frac{3,31}{3,38}$	$\frac{3,42}{3,52}$	$\frac{3,36}{3,76}$	$\frac{3,26}{3,84}$	$\frac{2,49}{3,88}$	$\frac{2,38}{3,78}$	$\frac{2,86}{3,33}$
60 % III + + 40 % Cз-1	$\frac{3,43}{3,35}$	$\frac{3,78}{3,50}$	$\frac{3,91}{3,63}$	$\frac{3,99}{3,75}$	$\frac{4,07}{3,86}$	$\frac{4,09}{4,02}$	$\frac{4,18}{4,15}$	$\frac{4,24}{4,27}$	$\frac{4,31}{4,34}$
60 % III + + 40 % Cз-2	$\frac{2,92}{2,99}$	$\frac{3,06}{3,09}$	$\frac{3,28}{3,22}$	$\frac{3,38}{3,36}$	$\frac{3,57}{3,43}$	$\frac{3,66}{3,72}$	$\frac{3,73}{3,87}$	$\frac{3,93}{4,10}$	$\frac{3,97}{4,16}$

* —" — В ВОДЕ

—" — ВО ВЛАГОНАСЫЩЕННОМ ВОЗДУХЕ

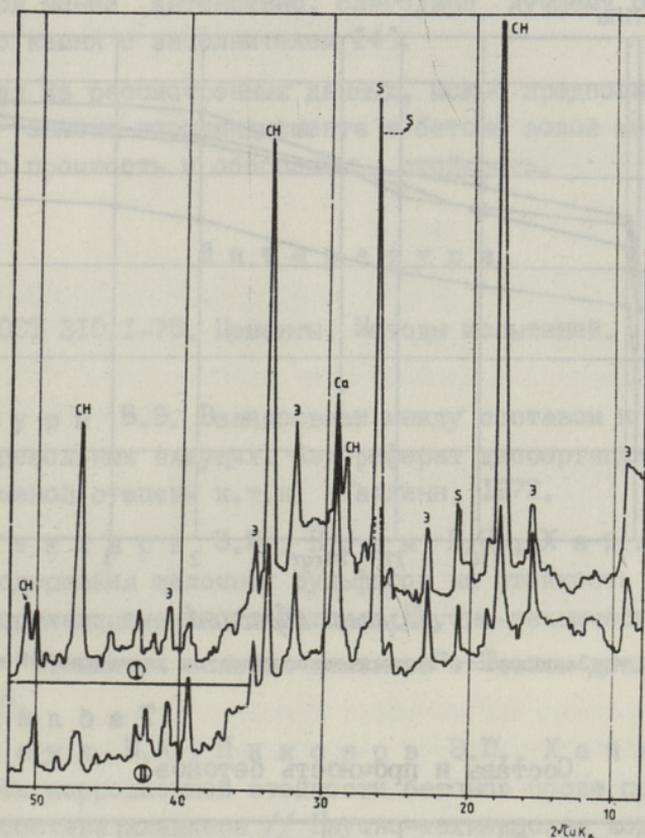


Рис. 3. Рентгенограммы цементного камня (возраст 9 мес.) образцов твердевших в воде.

1 - 90% ПЦ + 10% СЗ-2;

II - 60% ПЦ + 40% СЗ-2;

Э - этtringит;

CH - $\text{Ca}(\text{OH})_2$;

S - SiO_2 .

Рассмотрим результаты исследований тяжелых бетонов. Прочности бетонных кубов $10 \times 10 \times 10$ см приведены в таблице 6. Изменение динамического модуля упругости пропаренных при 85°C образцов, хранившихся в воде представлено на рисунке 4.

Из полученных данных следует, что замена золой части ПЦ повышала прочность крупнозернистых бетонов и не способствовала развитию признаков коррозии за 6 месяцев твердения образцов. Следует учитывать, что по сравнению с песчаными бетонами в крупнозернистом бетоне коррозия

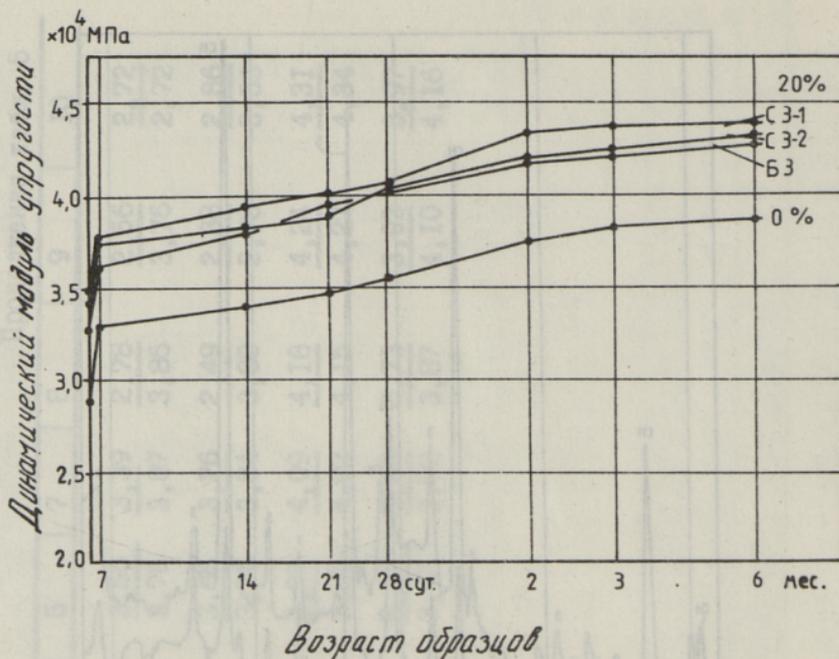


Рис. 4. Зависимость динамического модуля упругости от возраста.

Т а б л и ц а 6

Составы и прочность бетонов

№ со- става	Замена, %		В/Ц	ОК, см	Нормальн. твердение		Пропаривание		
	Щ	золой			7 сут.	28 сут.	1 сут.	28 сут.	6 мес.
I		0	0,59	3	26,2	33,1	19,8	29,8	40,1
2	10	Cз-I	0,55	3	29,0	42,2	23,0	41,6	62,8
3	20	Cз-I	0,52	2	28,8	45,4	29,2	47,1	64,3
4	30	Cз-I	0,51	2,5	23,6	48,0	30,5	51,2	67,2
5	40	Cз-I	0,50	2	18,5	44,2	32,0	51,0	66,6
6	20	Cз-2	0,56	2,5	35,0	46,1	29,1	44,4	64,3
7	20	Cз-2	0,53	2	33,0	44,7	26,9	48,0	62,3
8	30	Cз-2	0,52	3	24,1	42,3	29,5	45,0	59,6
9	40	Cз-2	0,51	2	19,5	38,1	27,1	42,5	61,0
10	10	Бз-I	0,53	2	37,8	50,4	32,3	46,3	69,0
11	20	Бз-I	0,51	2	42,1	51,3	30,4	46,7	66,1
12	30	Бз-I	0,50	2	34,4	44,4	28,7	46,6	64,3
13	40	Бз-I	0,49	1,5	27,1	39,1	26,9	44,7	59,8

проявляется менее интенсивно, благодаря лучшему сцеплению цементного камня с заполнителем [4].

Исходя из рассмотренных данных, можно предполагать, что частичная замена портландцемента в бетоне золой может повышать его прочность и обеспечить стойкость.

Л и т е р а т у р а

1. ГОСТ 310.1-76. Цементы. Методы испытаний. Общие положения.
2. Н у р м В.Э. Взаимосвязи между составом и свойствами сланцезольных вяжущих: Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.т.н. Таллинн, 1972.
3. П и к с а р в Э.Ю., Н у р м В.Э., Х а й н А.А. Влияние содержания щелочных сульфатов на стойкость пропаренного портландцементного бетона. Научно-техническая конференция "Стойкость зольных цементов": Тезисы докл. Таллинн, 1976.
4. Л а у л И.А., П и к с а р в Э.Ю., Х а й н А.А. Зависимость коррозионной стойкости бетонов после пропаривания от состава клинкера // Научно-техническая конференция "Стойкость зольных цементов": Тезисы докл. Таллинн, 1976.
5. К и к а с В.Х., У т к и н П.А., Р а с с Ю.Г. Использование фракции летучей золы сланца-кукерсита в качестве добавки к бетонам // Тр. Таллиннск. политехн. ин-та. 1988. № 675. С. 44-55.
6. К и к а с В.Х. Изучение и применение сланцезольных цементов: Дис. на соискание уч. степени д.т.н. Таллинн, 1973.

Kõrge lubjasisaldusega tuhalisandiga aurutatud
betoonide püsivus

Kokkuvõtte

Artiklis vaadeldakse betoonide aurutusjärgset püsivust. Betoonides asendati 10 - 40 % portlandtsementi põlevkivi ja pruunsöe lendtuhkadega. Katsetes kasutati portlandtsementi, mis oli valmistatud kõrge leelisesisaldusega klinkrist ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 1,62\%$). Betooni aurutati temperatuuridel 85 ja 95 °C. Tehti röntgen- ja elektronmikroskoopilisi uurin-
gud. Määrati proovikehade tugevus, dünaamiline elastsus-
moodul ja paisumine. Selgus, et tuha lisamisega võib välti-
da või vähendada aurutusjärgset korrosiooni.

P. Utkin, J. Rass

Durability of Steam Cured Concretes with
High-Lime Fly-Ash Additions

Abstract

The article deals with the durability of concretes with the additions of high-lime pulverized fly-ashes (PFA). Two fractions of oil-shale and one fraction of brown coal PFA were used.

The tests were carried out with portland cement, based on clinker with high alkali content ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 1.62\%$). Up to 40 % of portland cement was substituted by PFA. The workability of concrete mixtures was kept constant. Samples were steam-cured at 85 and 95 °C. Strength, expansion and dynamic modulus of elasticity were studied. X-ray diffraction, electron microscopy tests were carried out.

It is pointed out, that PFA additions can increase the strength and decrease the corrosion of samples.

ВЛИЯНИЕ ПРОПАРИВАНИЯ НА СВОЙСТВА МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ
ПЕСЧАНЫХ БЕТОНОВ С ДОБАВКАМИ СЛАНЦЕВОЙ ЗОЛЫ

Введение

Процессы, происходящие при пропаривании мелкозернистых песчаных бетонов с добавками сланцевой золы (СЗ), существенно отличаются от процессов, происходящих при пропаривании бетонов на обычных портландцементе (ПЦ). В настоящей статье рассмотрены некоторые особенности, связанные с расширением при пропарочном твердении бетонов с добавками СЗ.

Бетоны, в состав которых вводится сланцевая зола, по своему физико-химическому составу существенно отличаются от традиционных бетонов на портландцементе повышенным содержанием свободного оксида кальция и сульфатов. Рассмотрим возможное влияние этих компонентов на свойства бетонов как на ранних стадиях, так и при долговременном твердении.

На ранних стадиях твердения и при пропаривании происходит интенсивное гашение CaO , которое может приводить к уплотнению бетона и к повышению прочности при твердении в жестких формах.

Влияние сульфатов проявляется при позднем твердении в присутствии воды, когда возможно образование вторичного этрингита [4]. С учетом изложенных предположений были проведены экспериментальные исследования.

Экспериментальная часть

В опытах использовали портландцемент лабораторного помола на основе клинкера ПЦ "Эсти цемент" (табл. I). Содержание SO_3 3,5 и 4,5 % в ПЦ регулировалось добавками при-

родного гипса. Портландцемент с содержанием $SO_3 = 3,5\%$ использовали для исследования послепропарочного расширения. Расширение при пропаривании определяли также и у бетонов с портландцементом, содержащим $4,5\%$ SO_3 . Цементы имели удельную поверхность $320 \text{ м}^2/\text{кг}$. Использовались три фракции летучей СЗ (табл. 2), которые были отобраны из электрофильтров Прибалтийской ГРЭС.

Т а б л и ц а 1
Химико-минералогический состав клинкера

Клинкер	Минералогический состав, %				Содержание, %	
	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF	K_2O+Na_2O	SO_3

НПО "Ээсти цемент"	58,0	14,0	7,0	13,0	1,62	1,93
--------------------	------	------	-----	------	------	------

Т а б л и ц а 2

Свойства золы

Наименование золы	Обозначение золы	$CaO_{св}$, %	SO_3 , %	Уд. пов., $\text{м}^2/\text{кг}$	$M_{\text{кач.}}^*$
-------------------	------------------	----------------	------------	----------------------------------	---------------------

Сланцевая зола	СЗ-1	8,4	9,47	393	4,7
Сланцевая зола	СЗ-2	9,1	7,35	298	3,3
Сланцевая зола	СЗ-3	14,1	6,68	258	2,0

* Величина модуль качества определяется соотношением удельной поверхности к содержанию свободной извести в золе

$$M_{\text{кач.}} = \frac{\text{уд. поверхность, } \frac{\text{м}^2}{\text{кг}}}{CaO_{св}, \frac{\text{г}}{\text{кг}}}$$

Из исходных компонентов приготавливали песчаные бетоны (далее бетоны) состава 1:3 (вяжущее: Вольский песок). В качестве вяжущего использовали смесь ПЦ и СЗ, в которой содержание СЗ колебалось от 10 до 40%. Приготовление образцов проводилось по методике ГОСТ 310.41-76 [1].

Пропаривание производили по режиму 2+3+6+2 часов при температуре 95°C . Высокая температура пропаривания и содержание SO_3 $4,5\%$ в ПЦ были выбраны для изучения стойкости цементного камня при угрозе возникновения вторичного

этtringита [4]. У бетонов изучали расширение при пропаривании, при твердении в воде после пропаривания, энергию расширения при пропаривании и после, при твердении в воде.

Во всех случаях подвижность раствора удерживалась в пределах 113...115 мм расплыва конуса на встряхивающем столике.

Расширение при пропаривании исследовалось при помощи цилиндров Ле-Шателье. Цилиндр высотой и диаметром 30 мм, толщиной стенки 0,5 мм имеет вертикальную прорезь и два проволочных стержня длиной 165 мм, припаянных к краям прорези. Расширение в мм оценивали по расхождению стержней. С внутренней стороны прорезь закрывали перед наполнением цилиндра бетоном слоем тонкой промасленной бумаги. Опыт по определению расширения при пропаривании проводился в следующей последовательности: производили приготовление бетона [1]. Смесь в цилиндре уплотняли штыкованием прутком диаметром 5 мм по 10 раз в 2 слоя, после чего поверхность раствора разглаживали. Цилиндр осторожно переносили на смазанную стеклянную пластинку и прикрывали сверху другой такой же пластинкой. Цилиндры с бетоном предварительно выдерживали 2 часа, после чего пропаривали. Разница расстояний между концами стержней до и после пропаривания дает возможность оценить расширение при пропаривании. Одной смесью заполняли два цилиндра при допустимой разности показаний в 1 мм. Результатом считали среднее измерение двух цилиндров. Расширение после пропаривания определяли на образцах размерами 4x4x16 мм из бетонов 1:3. Энергию расширения определяли при помощи кондукторов, используемых при определении самонапряжения напрягающих цементов по ТУ 21-80-18-80 [2] при использовании тех же составов 1:3.

Результаты опытов

Результаты опытов по определению расширения при пропаривании представлены на рисунке 1. При добавке золы с $M_{\text{кач.}} = 4,7$ (СЗ-1) до 20-25 % расширение не превышает расширения образца без добавки золы. При использовании золы с $M_{\text{кач.}} = 3,3$ (СЗ-2) возможное количество золы в составе вяжущего может составлять 10 %, однако такая же добавка золы СЗ-1 увеличивает расширение в 2 раза. Влияние содержания

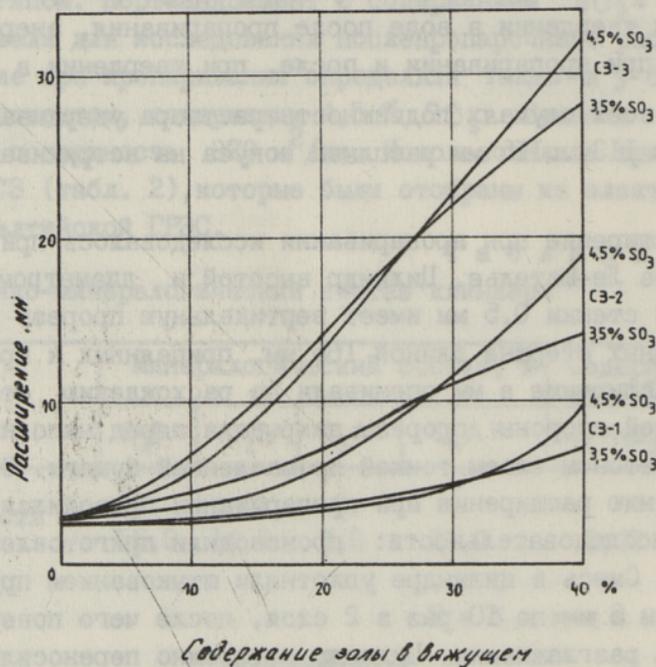


Рис. 1. Зависимость расширения при пропаривании от содержания золы.

гипса на расширение при пропаривании заметно при количестве золы более 30 %.

Расширение образцов, твердевших в кондукторах, и образцов, твердевших после пропаривания в условиях свободного расширения, приводится в таблице 3.

Свободное расширение образцов указывает на коррозию, так как в возрасте 3 месяцев удлинение образцов превысило 2 мм/м, появились заметные трещины. Связанное расширение характеризует напряжение, которое развивается в образце. Энергия расширения определялась по формуле:

$$R = \Delta l \times 16,16 \text{ (МПа)},$$

где Δl - удлинение, мм

16,16 - константа кондуктора.

В возрасте одних суток связанное расширение достигает 0,05-0,10 мм, что соответствует напряжению 0,8-1,6 МПа. К 9-му месяцу напряжение в образцах достигло 2,6-5,5 МПа.

Расширение образцов после пропаривания

Использованная зола	Р а с ш и р е н и е, мм/м							
	с в я з а н н о е в возрасте				с в о б о д н о е в возрасте			
	1 сут.	28 сут.	3 мес.	9 мес.	7 сут.	28 сут.	3 мес.	9 мес.
0 %	0,05	0,05	0,10	0,20	0,02	0,04	0,26	2,54
СЗ-1								
30 %	0,06	0,10	0,16	0,32	0,04	0,06	1,08	1,27
40 %	0,06	0,07	0,15	0,26	0,04	0,10	0,52	0,56
СЗ-2								
10 %	0,04	0,08	0,15	0,32	0,03	0,05	1,05	2,17
20 %	0,07	0,10	0,15	0,34	0,03	0,05	1,05	2,18
30 %	0,02	0,12	0,18	0,32	0,03	0,04	0,33	1,14
50 %	0,07	0,13	0,17	0,22	0,05	0,08	0,14	0,16
СЗ-3								
10 %	0,07	0,10	0,15	0,28	0,03	0,06	1,25	2,02
20 %	0,12	0,12	0,16	0,29	0,05	0,08	1,64	1,98
30 %	0,09	0,13	0,16	0,26	0,04	0,06	1,08	1,27
40 %	0,10	0,13	0,14	0,16	0,04	0,10	0,52	0,56

По твердению образцов, заключенных в кондукторы, видно, что расширение, а, следовательно, и напряжение меньше в образцах с максимальными количествами золы. Кинетика прироста расширения образцов указывает на коррозионный характер явления. Известно, что расширение вяжущего на основе ПЩ клинкера и СЗ происходит от совокупности сульфоалюминатного и оксидного расширения [3, 4]. Возникновению вторичного этtringита способствуют высокое содержание щелочных сульфатов в клинкере (см. табл. I), более 1,5 %, и высокая температура пропаривания. В работе [4] показано, что уменьшить или вообще предотвратить коррозию можно путем добавления к ПЩ клинкеру фракции летучей золы сланца-кукерсита.

В данной же работе содержание SO_3 в составе вяжущего было повышено за счет природного гипса, который добавлялся к ПЩ клинкеру при помоле. Долговременное твердение образцов, как при свободном, так и при связанном расширении сви-

детельствует о зависимости расширения от $M_{\text{кач}}$ золы и ее количества, а именно: чем больше золы и чем она мельче, тем более стойкими оказываются образцы. Характерно, что как раз в этих случаях расширение при пропаривании минимально. На рентгенограммах, полученных после 9-месячного твердения в воде, видны различия в пиках вторичного этtringита и $\text{Ca}(\text{OH})_2$ [5]. Повышенная стойкость бетонов с большими количествами СЗ-I может быть объяснена меньшей макрокапиллярной пористостью.

Большая стойкость пропаренного бетона с добавкой золы по сравнению с бетоном на портландцементе обусловлена меньшей пористостью: за счет снижения водопотребности, чем обеспечивается повышенная водонепроницаемость образцов. Повышению стойкости способствует также активная стеклофаза золы. Расширение бетонов при пропаривании не способствует увеличению их стойкости. Наиболее эффективными при использовании в бетонах следует считать сланцевые золы с $M_{\text{кач}} \geq 4,0$, так как их добавка в бетон вызывает наименьшее расширение при пропаривании.

Л и т е р а т у р а

1. ГОСТ. 310.1-76. Цементы. Методы испытаний. Общие положения.
2. ТУ 21-80-18-80. Напрягающие цементы.
3. К и к а с В.Х., Р е й с п е р е Х.Я., Э в е р т М.Х. О ходе гидратации гипсового ангидрида при твердении теста из мельчайшей фракции сланцевой золы при нормальных условиях // Тр. Таллинск. политехн. ин-та. 1971. №308.
4. П и к с а р в Э.Ю., Н у р м В.Э., Х а й н А.А. Влияние содержания щелочных сульфатов на стойкость пропаренного портландцементного бетона // Научно-техническая конференция "Стойкость зольных цементов": Тезисы докл. Таллинн, 1976.
5. Уткин П.А., Расс Ю.Г. Стойкость пропариваемых бетонов с добавками фракций летучих высококальциевых зол (см. наст. сб. с. 56).

Aurutamise mõju põlevkivilendtuha-lisandiga
peeneteraliste liivbetoonide püsivusele

Kokkuvõte

Vaadeldakse peeneteraliste liivbetoonide püsivust ja selle seost aurutamisaegse paisumisega. Uuriti kolme erineva põlevkivilendtuha fraktsiooni mõju. Betoonides asendati 10 - 40 % portlandtsementi tuhafraktsioonidega. Kõige püsivamaks osutusid proovikehad, milles kasutati 40 % tuhka eripinnaga $393 \text{ m}^2/\text{g}$ ja vabalubjasisaldusega 8,4 %. Püsivus oleneb ka aurutustemperatuurist.

P. Utkin

Durability of Steam Cured Sand Concretes with
Addition of Oil-Shale Fly-Ashes

Abstract

The article deals with the expansion of concretes during steam curing and long-time hardening. Stressed and free expansions of concrete samples were studied. During the tests 10 - 40 % of portland cement was substituted by three different fractions of oil-shale pulverized fly-ash. Durability of samples depends on the fineness of ashes used and on the curing temperature. Better results were achieved with 40 % ash with specific surface $393 \text{ m}^2/\text{g}$ and 8,4 % free lime.

УДК 666.944.2:666.972

М.А. Хайн

СВОЙСТВА БЕТОНОВ НА ОСНОВЕ ИЗВЕСТНЯКОВОГО ЩЕБНЯ

В статье рассматриваются изменения свойств бетонов в зависимости от состояния известнякового щебня, использованного при изготовлении бетона. Щебень использовали в мокром и в сухом состоянии (высушенный). Для сравнения изготавливались также бетоны на основе сухого гранитного щебня.

В качестве компонентов состава бетонной смеси использовались материалы со следующими показателями:

1. Цемент - сланцевольный портландцемент, изготовленный НПО "Ээсти цемент" марки 500, который имел по ГОСТу 310.4-81 в возрасте 28 суток нормального твердения прочность при сжатии 54,5 МПа и прочность после пропаривания 43,7 МПа.

2. Песок - из карьера "Мяннику" с $M_{кр} = 2,28$.

3. Щебень - известняковый из карьера "Вяо" фракции 5-20 мм. Содержание фракции 5-10 мм - 30 % и фракции 10-20 мм - 70 %. Содержание пылевидных и глинистых частиц - 4,8 %. Гранитный щебень из карьера "Вазалемма" фракции 5-20 мм. Содержание фракции 5-10 мм - 35 % и фракции 10-20 мм - 65 %.

4. Вода - питьевая из городской водопроводной сети.

При подборе составов смесей исходили из возможности получения максимальной марки бетона, поэтому расходы цемента принимались 350, 450 и 550 кг/м³. Дозирование заполнителей осуществлялось в сухом состоянии. Мокрый щебень получали путем погружения сухого щебня в воду в сетчатом контейнере на 30 минут и последующей выдержки контейнера над водой в течение 90 минут. Опускание контейне-

ра в воду и его подъем из воды осуществлялись осторожно (медленно), чтобы не происходили отделение глинистых частиц и отмывка щебня. Водопоглощение известнякового щебня как среднее по серии определений составило 4,4 %.

Перемешивание бетонной смеси происходило в смесителе принудительного действия. Время перемешивания смесей составляло 3 минуты. Удобоукладываемость смесей оценивалась по осадке конуса (ОК), которую поддерживали в пределах 8-10 см. Из смесей изготавливали образцы размерами 10x10x10 см для определения прочности при сжатии и 7x7x28 см - для определения морозостойкости. Твердение бетона происходило в нормальных условиях и при пропаривании при 80 С по режиму 2+3+6+2 часа (предварительная выдержка + подъем температуры + изотермическая выдержка + охлаждение). При твердении в нормальных условиях прочность при сжатии бетона определялась в возрасте 7 и 28 суток, а после пропаривания - в возрасте 1 и 28 суток по ГОСТу 10180-78. На определение морозостойкости направляли образцы в возрасте 28 суток; испытание проводилось в соответствии с требованиями ГОСТа 10060-87.

Составы и прочностные показатели бетонов на разных щебнях (при твердении в нормальных условиях и при пропаривании) представлены в таблице I. В зависимости от вида использованного щебня и его состояния средние водопотребности смесей в рассматриваемых диапазонах ОК были следующие:

мокрый известняковый щебень	146,7 кг/м ³
сухой известняковый щебень	186,7 кг/м ³
сухой гранитный щебень	171,7 кг/м ³

Если в случае мокрого щебня учесть и внесенную предварительным насыщением воду, то получим среднюю водопотребность 197,4 кг/м³.

При использовании известнякового щебня в сравнении с гранитным щебнем водопотребность смеси возрастает на 15 кг/м³. Таким образом, можно считать, что дополнительное количество воды необходимо для водопоглощения известняковых частиц и для придания необходимой консистенции пасте из пылевидных и глинистых частиц.

Составы и прочностные показатели бетонов на разных щебнях

Щебень	Состав бетона		по массе по объему		Плотность, кг/м ³	ОК, см	Прочность бетона при сжатии, МПа +80 °С			
	цемент	песок	щебень	вода			7 сут.	28 сут.	I сут.	28 сут.
Известня- ковый мокрый	350	700	1220	140	2410	8,5	31,1	38,7	27,5	40,2
	1,0	2,00	3,49	0,400						
	450	610	1210	145	2415	9,5	40,8	50,5	38,2	50,2
	1,0	1,36	2,69	0,322						
	550	540	1180	155	2425	9,5	46,9	59,4	45,6	59,2
	1,0	0,98	2,15	0,282						
Известня- ковый сухой	350	695	1170	180	2395	9,0	33,0	41,3	32,4	43,0
	1,0	1,99	3,34	0,514						
	450	610	1160	185	2405	9,5	43,2	52,1	41,9	53,6
	1,0	1,36	2,58	0,411						
	550	535	1130	195	2410	9,0	51,1	61,0	49,0	62,4
	1,0	0,97	2,05	0,354						
Гранитный сухой	350	740	1170	165	2425	9,5	37,5	47,0	36,9	48,0
	1,0	2,11	3,34	0,471						
	450	655	1160	170	2435	9,5	49,4	61,7	48,4	61,2
	1,0	1,46	2,58	0,378						
	550	570	1140	180	2440	9,5	57,8	70,1	56,0	68,8
	1,0	1,04	2,07	0,327						

При использовании мокрого щебня в сравнении с сухим гранитным щебнем среднее количество воды в смеси уменьшается на 25 кг/м^3 . Следовательно, с мокрым щебнем в смесь вносится больше воды, чем необходимо для смачивания частиц. При использовании мокрого известнякового щебня (если учитывать воду, вносимую насыщением) количество воды превышает ее количество для смеси на гранитном щебне на $25,7 \text{ кг/м}^3$ и количество воды для смеси на сухом известняковом щебне — на $10,7 \text{ кг/м}^3$. Последнее составляет $0,9\%$ от массы щебня. Это количество можно рассматривать как дополнительное водопоглощение зерен в сравнении с сухим известняковым щебнем. За счет такого дополнительного водопоглощения снижаются прочность при сжатии и морозостойкость бетона. Таким образом, с увеличением общего количества воды в бетоне на мокром щебне связаны как дополнительное водопоглощение зерен щебня, так и избыток свободной воды, который влияет на свойства бетона.

Изменения прочности при сжатии бетонов, полученных при использовании разных щебней, представлены в таблице 2.

Т а б л и ц а 2

Средние и относительные прочности при сжатии бетонов при разных щебнях

Вид и составные щебня	Средняя прочность при сжатии бетона							
	Условия и длительность твердения							
	+20 °С				пропаривание +80 °С			
	7 сут.	%	28 сут.	%	I сут.	%	28 сут.	%
	МПа		МПа		МПа		МПа	
Мокрый известняковый	39,6	100	49,5	100	37,1	100	49,9	100
Сухой известняковый	42,2	107	51,5	104	41,1	111	53,0	106
Гранитный	48,2	122	56,9	120	47,1	127	59,3	119

Относительные прочности при сжатии взяты в сравнении с наилучшим вариантом — то есть со случаем использования мокрого известнякового щебня.

Известняковый щебень необходимо защищать от намокания в условиях производства и хранения, так как после намокания поверхность зерен загрязняется пылевидными и глинистыми

частицами, что вызывает еще большее снижение физико-механических показателей бетона.

При замене мокрого щебня на сухой получаем при нормальном твердении в случае известнякового щебня в среднем 5%-ный прирост прочности при сжатии, а в случае перехода на гранитный щебень - 21%-ный прирост прочности. У пропаренных бетонов прирост прочности при сжатии при замене мокрого известнякового щебня на сухой составляет в среднем 8 %, а при переходе на гранитный щебень - 23 %. Таким образом, в зависимости от вида и состояния щебня при средних расходах цемента можно соответственно изменению прочностных показателей сэкономить 15-80 кг/м³ цемента.

Вид и состояние щебня оказывают на морозостойкость бетона значительно большее влияние, чем на прочность при сжатии. При замене мокрого известнякового щебня на сухой щебень морозостойкость бетона, твердевшего при 20 °С, увеличивается в среднем на 100 циклов, а в случае пропаренного бетона - на 50 циклов (таблица 3).

Т а б л и ц а 3

Морозостойкость бетонов на разных щебнях

Вид и состояние щебня	Расход цемента в бетоне, кг/м ³	Морозостойкость циклов, бетон твердел при	
		+20 °С	+80 °С
Известняковый мокрый	350	100	50
	450	150	75
	550	200	100
Известняковый сухой	350	200	100
	450	250	150
	550	250	150
Гранитный сухой	350	250	150
	450	>250	>250
	550	>250	>250

Таким образом, для получения бетонов одинаковой морозостойкости при использовании сухого щебня можно уменьшить расход цемента при твердении в нормальных условиях и при пропаривании до 200 кг/м³. При применении гранитного щебня морозостойкость бетона (при испытании до 250 циклов) воз-

растает в 2-3 раза в сравнении с соответствующим показателем для бетона на основе мокрого известнякового щебня.

На основании вышеприведенного можно заключить, что при переходе с мокрого известнякового щебня на сухой прочность при сжатии бетона возрастает в среднем на 5...8 %, а при переходе на гранитный щебень на 21...23 %. При расходе цемента 350 кг/м^3 и равной прочности бетона можно сэкономить $17...80 \text{ кг/м}^3$ цемента по сравнению с мокрым известняковым щебнем.

Для получения бетона с морозостойкостью 200 и выше циклов необходимо использовать гранитный щебень, при нормальном твердении бетона можно использовать и сухой известняковый щебень.

M. Hain

Lubjakivikillustikuga valmistatud betoonide omadusi

Kokkuvõtte

Artiklis käsitletakse eri killustikuliikidega valmistatud betoonide omaduste muutusi. Katsetati märga ja kuiva lubjakivikillustikku. Võrdluseks valmistati betoone ka graniitkillustikuga. Betoonides kasutati põlevkivituhk-portlandtsementi mark 500. Kõrgema survetugevuse saamiseks valmistati segud võrdse töödeldavuse ja kolme tsemendihulgaga. Betoonid kivistati normaaltingimustel ja aurutuse teel. Peale survetugevuse määrati ka külmutuskindlus.

Normaaltingimustes kivistamisel saadi kuiva lubjakivikillustikuga betooni survetugevuse kasvuks 5 % ja graniitkillustikuga betooni puhul 21 %, võrreldes märja lubjakivikillustikuga valmistatuga. Aurutamiseга kivistamisel tõusis survetugevus 8 % kuiva lubjakivikillustikuga ja 23 % graniitkillustikuga betoonil. Survetugevuse juurdekasvust, sõltuvalt tsemendi hulgast ning killustiku liigist, võime säästa tsementi $15 - 80 \text{ кг/м}^3$. Betoonide külmutuskindlus oli keskmiselt märja lubjakivikillustiku puhul 75 - 150 ts, kuiva lubjakivikillustiku kasutamisel tõusis see 150 - 250 ts-ni. Graniitkillustikuga betooni külmutuskindlus ületas 250 ts.

Properties of Concretes with Carbonate Aggregate

Abstract

In this article the influence of coarse aggregate on concrete properties is discussed. Wet and dry carbonate coarse aggregates were used. Concrete mix with granite as coarse aggregate was prepared to obtain relative data. Grade 500 fly-ash portland cement was used as the binder. Concrete mixes were prepared with three different binder quantities. Concrete samples were hardened in normal conditions and steamcured. Compressive strength and resistance to freezing and thawing were determined.

When hardened in normal conditions, the gain of compressive strength of concrete with dry carbonate aggregate was 5 % bigger than that of concrete with wet carbonate aggregate. Granite aggregate allowed to achieve 21 % gain of compressive strength. The compressive strength of steamcured concrete samples was 8 % higher with wet aggregate and 23 % higher with granite aggregate.

The increase of compressive strength allows to reduce cement consumption for 15 - 80 kg/m³ depending upon cement quantities in the concretes. Freezing and thawing resistance of concretes with wet aggregates was about 75 - 150 cycles, with the dry one 150 - 250 cycles. The concrete with granite aggregate had freezing and thawing resistance of 250 cycles.

С о д е р ж а н и е

1.	В.Х. Кикас. Сланцезольные цементы специального назначения.....	3
2.	В.Э. Нурм, Я.М. Нюссик. Изучение свойств сланцезольного портландцемента с добавкой песка...	10
3.	Х.Ф. Иоон. О возможностях использования сланцевых зол с повышенным содержанием свободной извести при изготовлении специальных портландцементов.....	17
4.	С.И. Грабко. Химическое связывание воды цементом в бетоне.....	26
5.	С.И. Грабко. Формирование макрокапиллярной пористости сланцезольно-портландцементного бетона.....	38
6.	Р.Х. Пунтсо. О возможности использования суперпластификатора С-3 в сланцезольно-портландцементных бетонах.....	48
7.	П.А. Уткин, Ю.Г. Расс. Стойкость пропариваемых бетонов с добавками фракций летучих высококальциевых зол.....	56
8.	П.А. Уткин. Влияние пропаривания на свойства мелкозернистых песчаных бетонов с добавками сланцевой золы.....	69
9.	М.А. Хайн. Свойства бетонов на основе известнякового щебня.....	76

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ЗОЛЬНЫХ ЦЕМЕНТОВ И БЕТОНОВ
НА ИХ ОСНОВЕ

Изучение золы сланца-кукерсита ХУП

УДК 666.944

Сланцезольные цементы специального назначения.

Кикас В.Х. - Труды Таллиннского технического университета, 1989, № 703, с. 3-9.

Золы сжигания сланцев и бурых углей стали перспективными минеральными добавками к цементам.

В лаборатории строительных материалов Таллиннского технического университета в течение ряда лет совместно с Институтом строительства Госстроя ЭССР, Прибалтийской ГРЭС и НПО "Ээсти цемент" исследовались основы селективного использования летучих сланцевых зол. Всего разработано 8 цементов, из них сланцезольный портландцемент НПО "Ээсти цемент" производится уже 16 лет. К настоящему времени его произведено 4 млн. тонн. Из специальных разработаны и производятся напрягающий и сульфатостойкий сланцезольные портландцементы.

На сланцезольном портландцементе произведено приблизительно 12 млн. м³ железобетонных изделий, конструкций и сооружений. Экономический эффект от внедрения этого цемента составил 27 млн. рублей, сэкономлено 2 млн. тонн цемента.

Таблиц - 2.

Изучение свойств сланцезольного портландцемента с добавкой песка. Нурм В.Э., Нюссик Я.М. - Труды Таллиннского технического университета, 1989, № 703, с. 10-16.

В статье приводятся данные о свойствах сланцезольных портландцементов с 10-15%-ной добавкой песка.

Выяснилось, что 10%-ная добавка кварцевого песка к сланцезольному портландцементу, изготовленному на базе высококачественного клинкера и мельчайшей фракции летучей сланцевой золы (25 %) сравнительно мало уменьшает гидравлическую активность цемента. Образцы на этом цементе стойки в воде и в насыщенном влагой воздухе. Если активность клинкера выше 46 МПа, то при 25%-ной добавке мельчайшей фракции золы и 10%-ной добавке кварцевого песка можно получить цемент марки "500".

Таблиц - 4, библиографических наименований - 4.

О возможностях использования сланцевых зол с повышенным содержанием свободной извести при изготовлении специальных портландцементов.

Иоон Х.Ф. - Труды Таллиннского технического университета, 1989, № 703, с. 17-25.

В статье рассматривается взаимное влияние разных минеральных добавок при их совместном использовании в качестве добавки к портландцементу. Изучается влияние зол назаровского и березовского бурых углей, подмосковного угля и трепела на золу прибалтийских горючих сланцев. Сланцевая зола характеризуется высоким (15,4 %) содержанием свободной извести и сравнительно высокой тонкостью ($353 \text{ м}^2/\text{кг}$). Найдено, что оптимальным является состав цемента, который содержит 25 % сланцевой золы и 5 % добавок березовской золы, подмосковной золы или трепела.

Таблиц - 3, библиографических наименований - 2.

Химическое связывание воды цементом в бетоне.

Грабко С.И. - Труды Таллиннского технического университета, 1989, № 703, с. 26-37.

В данной статье рассмотрено влияние технологических факторов (расход цемента, воды, содержание и качество золы в сланцезольном цементе, добавка суперпластификатора С-3, температура пропаривания и длительность изотермической выдержки) на содержание химически связанной воды в бетоне. Показано, что наибольшее влияние на содержание химически связанной воды в бетоне оказывает начальное содержание цементной пасты в бетонной смеси. С увеличением содержания цементной пасты содержание химически связанной воды в бетоне значительно возрастает.

Рассмотрено также влияние содержания химически связанной воды в бетоне на прочность, морозостойкость, усадку и расширение бетона. Показано, что увеличение содержания химически связанной воды в бетоне обеспечивает повышение прочности и морозостойкости бетона, но при этом возрастает деформативность бетона - его расширение и усадка.

Рисунков - 9, библиографических наименований - 1.

Формирование макрокапиллярной пористости сланцезольно-портландцементного бетона.

Грабко С.И. - Труды Таллиннского технического университета, 1989, № 703, с. 38-47.

В данной статье рассмотрено влияние содержания макрокапиллярных пор на прочность, морозостойкость, усадку и расширение бетона. Показано, что с увеличением содержания макрокапиллярных пор усадка и расширение бетона существенно уменьшаются.

Рассмотрено также влияние технологических факторов (расход цемента, воды, содержание и качество золы в цементе, добавка суперпластификатора С-3, температура про-

паривания и длительность изотермической выдержки) на формирование макрокапиллярной пористости сланцезольно-портландцементного бетона. Показано, что наибольшее влияние на содержание макрокапиллярных пор в бетоне оказывает исходное цементно-водное отношение смеси. С увеличением данного отношения содержание макрокапиллярных пор в бетоне значительно уменьшается. Показано также, что минимальная макрокапиллярная пористость пропаренного бетона обеспечивается при температуре пропаривания около 80°C и длительности изотермической выдержки около 5 часов.

Рисунков - 8, библиографических наименований - 2.

УДК 666.972.16:666.944.21

О возможности использования суперпластификатора С-3 в сланцезольно-портландцементных бетонах.

Пунтсо Р.Х. - Труды Таллиннского технического университета, 1989, № 703, с. 48-55.

В работе рассматриваются возможности применения суперпластификатора С-3 в сланцезольно-портландцементных бетонах. Эффективность применения суперпластификатора С-3 изменяется в довольно широких пределах и во многом зависит от количества вовлеченного под влиянием добавки воздуха. При меньших расходах цемента, $240-300 \text{ кг/м}^3$, вовлекается значительное количество воздуха, в связи с чем приросты прочности и получаемая экономия цемента незначительны. При повышенном содержании воздуха улучшаются стойкостные свойства бетона. При средних и высоких расходах цемента, $300-360$ и $360-420 \text{ кг/м}^3$, вовлечение воздуха под действием добавки не столь существенно и введение суперпластификатора обеспечивает улучшение прочностных показателей бетона. Эффективность суперпластификатора С-3 зависит от природы и чистоты использованных заполнителей. Наилучшие результаты можно получать при использовании чистого гранитного щебня.

Таблиц - I.

Стойкость пропариваемых бетонов с добавками фракций летучих высококальциевых зол. Уткин П.А., Расс Ю.Г. - Труды Таллиннского технического университета, 1989, № 703, с. 56-68.

Бетоны, высококальциевые золы, стойкость, пропаривание.

В статье рассматривается стойкость бетонов, полученных с использованием высококальциевых сланцевых и бурогольных зол. В опытах использовали портландцемент на основе клинкера с высоким содержанием щелочей ($K_2O+Na_2O = 1,62\%$). В бетонах золой заменяли от 10 до 40 % портландцемента. Бетоны пропаривали при температурах 85 и 95 °С. У образцов определяли прочность, расширение и динамический модуль упругости при долговременном твердении. Установлено, что добавки золы могут повышать коррозионную стойкость бетонов.

Таблиц - 6, рисунков - 4, библиографических наименований - 6.

Влияние пропаривания на свойства мелкозернистых песчаных бетонов с добавками сланцевой золы. Уткин П.А. - Труды Таллиннского технического университета, 1989, № 703, с. 69-75.

Сланцевая зола, мелкозернистый песчаный бетон, пропаривание, расширение, стойкость.

В статье рассматривается расширение при пропаривании мелкозернистых песчаных бетонов с добавками мельчайшей фракции летучей сланцевой золы. Исследовалось свободное и связанное расширение бетонов при пропаривании и последующем долговременном твердении. Установлено, что образцы с 40%-ной добавкой золы оказались более стойкими, чем с 10%-ной добавкой.

Стойкость образцов зависит от тонкости применяемой золы, ее количества и температуры пропаривания. Наиболее

стойкими при долговременном твердении оказались те образцы, расширение которых при пропаривании было минимальным.

Таблиц - 3, рисунков - 1, библиографических наименований - 5.

УДК 666.944.2:666.972

Свойства бетонов на основе известнякового щебня.

Хайн М.А. - Труды Таллиннского технического университета, 1989, № 703, с. 76-82.

В настоящей статье рассмотрено изменение свойств бетонов в зависимости от использованных крупных заполнителей. В качестве крупного заполнителя использовали сухой и водонасыщенный известняковый щебень. Для сравнения использовали гранитный щебень. При изготовлении бетонов применяли сланцезольный портландцемент М500. Смеси приготавливали при равной подвижности при трех расходах цемента из расчета получения максимальной прочности бетонов.

Бетоны отверждались как при нормальном твердении, так и при пропаривании. Кроме прочности бетонов определяли и их морозостойкость. При нормальном твердении был достигнут прирост прочности на 5 % при использовании сухого известнякового щебня и на 27 % с гранитным щебнем по сравнению с водонасыщенным известняком. При пропаривании прочность бетона на сухом известняковом щебне повышается на 8 и на 23 % - с гранитным. С учетом прироста прочности и вида щебня можно получить экономию цемента в 15...80 кг/м³ бетона.

Морозостойкость бетонов на водонасыщенном щебне составила в среднем 75-100 циклов, на сухом возростала до 150-250 циклов. Морозостойкость бетона на гранитном щебне составила 250 циклов.

Таблиц - 3.



Цена 1 руб.

EESTI AKADEEMILINE RAAMATUKOGU



1 0200 00082487 4