

Ep. 6.7  
**675**

ISSN 0136-3549

0203-9710

**TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI**

# **TOIMETISED**

**ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА**

**TRANSACTIONS OF TALLINN  
TECHNICAL UNIVERSITY**

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



**TALLINN 1988**



Ep. 6.7

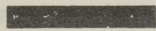
# 675

ALUSTATUD 1937

TALLINNA POLÜTEHNILISE  
INSTITUUDI TOIMETISED

ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

TRANSACTIONS OF TALLINN  
TECHNICAL UNIVERSITY



УДК 666

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ  
ЗОЛЬНЫХ ЦЕМЕНТОВ И  
БЕТОНОВ НА ИХ ОСНОВЕ

Изучение золы сланца-кукерсита XVI

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

TALLINN 1988

ТАЛЛИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
Труды ТПИ № 675

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ЗОЛЬНЫХ ЦЕМЕНТОВ  
И БЕТОНОВ НА ИХ ОСНОВЕ

Изучение золы сланца-кукерсита ХУ1

На русском языке

Ответственный редактор Э. Уусталу

Технический редактор Е. Зорина

Сборник утвержден коллегией Трудов ТПИ 29.06.88г.

Подписано к печати 14.12.88г.

МВ-05940

Формат 60x90/16

Печ. л. 5,5 + 0,5 приложение

Уч.-изд. л. 4,6

Тираж 300

Заказ № 810

Цена 90 коп.

Таллинский политехнический институт

200108 Таллин, Эхитаяте теэ, 5

Ротапринт ТПИ

200006 Таллин, ул. Коскла, 2/9



Таллинский политехнический институт, 1988

В.Х. Кикас, А.А. Хайн, Ю.Э. Сейдманн

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА  
СПЕЦИАЛЬНЫХ СЛАНЦЕЗОЛЬНЫХ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТОВ

В качестве перспективных минеральных добавок к цементу все больший интерес привлекают летучие золы, образующиеся при сжигании на теплоэлектростанциях 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 в сравнении с гидравлическими добавками и доменными шлаками, в первую очередь являясь мелкодисперсными пластификаторами.

В научно-исследовательской лаборатории строительных материалов Таллинского политехнического института совместно с НИИСтроительства Госстроя ЭССР, Прибалтийской ГРЭС и цементным заводом "Пунане Кунда" 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. таблицу I). Эти фракции можно получить непосредственно в процессе золоулавливания из дымовых газов без существенных дополнительных затрат в механических золоуловителях и электрофильтрах и условно назвать крупной, мелкой и мельчайшей.

Крупная фракция наиболее подходит для изготовления автоклавных бетонов. Мелкая фракция в композиции с клинкером подходит для изготовления сланцезольных вяжущих - кукермитцементов марки до 300 (65-75 % мелкой фракции золы и 35-25 % цементного клинкера) и сланцезольных цементов с микронаполнителями: во-первых, марки до 300 (30-40 % мелкой фракции золы, 30-40 % кварцевого песка и 25-35 % цементного клинкера) и, во-вторых, марки до 500 (25-35 % мельчайшей

фракции золы, 15-25 % кварцевого песка и 40-60 % цементного клинкера). Если использовать только мельчайшую фракцию в качестве добавки к портландцементному клинкеру, то получится быстротвердеющий и высокомарочный сланцезольный портландцемент.

Перечень разработанных лабораторией цементов и уровень их разработки приведены в таблице 2.

Т а б л и ц а I

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

Сланцезольный цемент является расширяющимся цементом и требует более тщательного соблюдения технологии изготовления и использования, чем обычные или безусадочные цементы, особенно при повышенной влажности среды твердения. Этим обусловлена необходимость разработки составов сланцезольных цементов с микронаполнителями (СзЦМ).

СзЦМ с низким содержанием клинкера может применяться для изготовления строительных растворов и бетонов. Бетонные смеси с расходом цемента 350 кг/м<sup>3</sup> и осадкой конуса 2-3 см позволяют обеспечить прочность при сжатии 30 - 35 МПа.

СзЦМ с высоким содержанием клинкера имеет марку 400 - 500 соответственно при использовании золы с модулем качества  $M_{кач} = 2,6-7,0$ . Водопотребность бетонных смесей на этих цементах на 10-15 % ниже, чем при использовании обычного портландцемента. Бетонные смеси с расходом цемента 350 кг/м<sup>3</sup> и осадкой конуса 2-3 см позволяют обеспечить прочность бетона при сжатии 40-45 МПа. Эти цементы обладают свойствами пластифицированных цементов.

Таблица 2

Наименование цемента	Используемая фракция золы	Состав цемента, %		Марки цемента	Уровень разработки
		глинкер	зола		
Кукермит	Мелкая	-	100	100	Промышленно произведено 0,8 млн. тонн
Сланцеозольный цемент	Мелкая	25-35	65-75	200-300	Опытная партия
Сланцеозольный цемент с микронаполнителями	Мелкая или мельчайшая	25-35	30-40	200-300	Лабораторный; требуется дополнительное изучение в бетонах
То же	То же	40-60	25-35	400-500	То же
Сланцеозольный портландцемент	Мельчайшая	70-80	20-30	500-600	Промышленное производство 4,0 млн. тонн
То же	Мельчайшая	70-80	20-30	600-700	Опытная партия
Сульфатостойкий сланцеозольный портландцемент	Мельчайшая	73-68	27-32	550	Опытная партия
Напрягающий сланцеозольный цемент	Мельчайшая	60-70	30-40	500-550	Опытная партия

По прочностным показателям и эффективности пропаривания оптимальной является температура пропаривания 80 °С. Коэффициенты эффективности пропаривания  $K_1$  и  $K_2$  в среднем составляют 0,65 и 1,05. СэЦМ является безусадочным цементом. Данные о влажностных деформациях бетонов, подвергавшихся высушиванию с возраста семи суток показывают, что усадка бетонов на сланцезольных цементах немного больше, чем у бетонов на обыкновенном портландцементе. Если же бетоны высушиваются с возраста одних суток, то усадка бетонов на сланцезольных цементах меньше, чем на портландцементе.

Сланцезольный портландцемент (СаПЦ) марки 500-600 оказал значительное влияние на развитие промышленности железобетона ЭССР и завоевал в строительной промышленности нашей республики всеобщее признание. Почти весь цемент применен для изготовления сборного железобетона, где он при пропаривании соответствует требованиям к высокоэффективному и высокомарочному портландцементу. Его расход до 1,6 раза ниже по сравнению с обычным портландцементом марки 400.

На основе СаПЦ изготовлено около 12 млн. м<sup>3</sup> железобетонных изделий, конструкций и сооружений. СаПЦ 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 Йисмяе и Ласнамяе в Таллине, морские набережные, Таллинская телебашня, дымовые трубы электростанций, виадуки, Ленинградская АЭС и пр. [1].

Сульфатостойкий сланцезольный портландцемент (ССэЦЦ), обеспечивает сульфатостойкость, равную сульфатостойкому портландцементу. Содержание  $C_3A$  в используемом клинкере должно быть не выше 8 %, содержание свободной извести в золе - в пределах 7-10 % и удельная поверхность золы - более 320 м<sup>2</sup>/кг. Повышенная сульфатостойкость названного цемента обеспечивается благодаря пониженному содержанию  $C_3A$  в цементе, а также уплотнению структуры бетона за счет низкой водопотребности ССаПЦ, его пуццоланового твердения и расширения.



Напрягающий сланцезольный портландцемент (СзНЦ) является эффективным цементом, который получается совместным помолом портландцементного клинкера и фракции летучей золы сланца-кукерсита определенного состава и качества. В отличие от известных сульфоалюминатных напрягающих цементов расширение СзНЦ происходит в основном по оксидному типу и в меньшей мере - по сульфоалюминатному типу. Разработанный напрягающий цемент имеет две марки - СзНЦ-20 и 40. СзНЦ-20 при твердении в нормальных условиях свободно расширяется на 2-5 мм/м, а СзНЦ-40 - на 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 СзНЦ в количестве 650 тонн была выпущена на цементном заводе "Пунане Кунда" 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.

Ниже дается технико-экономическая оценка расширения производства сланцезольных портландцементов.

Расчеты выполнены по цементному заводу "Пунане Кунда", находящемуся на территории Эстонской ССР.

Методика и расчетные формулы основных показателей приняты в соответствии с более ранними разработками [2, 3].

Объем производства цемента на заводе по исходному варианту  $A_1 = 1215$  тыс. тонн. Объем производства клинкера при этом составил 1029 тыс. тонн или 84,7 % от выпуска цемента.

Годовой объем цемента распределяется следующим образом:	
портландцемент М400	- 915 тыс. т
сланцезольный ПЦ М500	- 300 тыс. т
Всего	<u>1215 тыс. т</u>

Расход летучей сланцевой золы 75 тыс. тонн.

В расчетном варианте весь объем клинкера предусматривается использовать для производства специальных сланцезольных портландцементов.

Объем производства цемента на заводе "Пунане Кунда" по расчетному варианту составляет  $A_2 = 1574$  тыс. тонн. Тем самым объем выпуска цемента по сравнению с исходным вариантом увеличивается на 359 тыс. тонн или 29,5 %.

Структура цемента по видам и маркам по расчетному варианту дана в таблице 3.

Т а б л и ц а 3

Программа производства специальных сланцезольных портландцементов на заводе "Пунане Кунда" по расчетному варианту

Вид и марка цемента	Содержание клинкера в цементе		Содержание сл. золы, тыс. т	Содержание песка, тыс. т	Объем производства цемента	
	тыс. т	%			тыс. т	%
СзЩ М500 (сл.золы 25 %)	292	75	97	-	389	24,7
СзЩ М600 (сл.золы 25 %)	292	75	97	-	389	24,7
Сульфатостойкий СзЩ М550 (сл.золы 30 %)	45	70	19	-	64	4,1
СзЩ с микронаполнителями М400 (сл.золы 30 %)	322	60	161	54	537	34,1
СзЩ с микронаполнителями М300 (сл.золы 35 %)	39	30	45	46	130	8,3
СзЩ-40 (сл.золы 40 %)	39	60	26	-	65	4,1
Всего	1029	-	445	100	1574	100,0

Коэффициент эффективности сланцезольного портландцемента по расчетному варианту при изготовлении бетонных и железобетонных изделий в сравнении с использованием исходного варианта определен для завода "Пунане Кунда" на основании коэффициентов эффективности, установленных лабораторией ТПИ для указанных видов специальных сланцезольных портландцементов,  $P = 1,44$ .

Средняя себестоимость цемента по исходному варианту по данным завода "Пунане Кунда" составляет  $C_1 = 14,86$  руб/т,

а по расчетному варианту принимается в соответствии с расчетами Гипроцемента [4] и с учетом повышения цен  $C_2=12,74$  руб./т.

Удельные капитальные вложения на производство I тонны портландцемента определены по действующим нормативам в ценах 1984 года  $K_1 = 53,8$  руб.

Размер дополнительных капитальных вложений, необходимых для перехода на выпуск сланцезольного портландцемента в соответствии с расчетной программой,  $K = 3770$  тыс. руб. [2].

Капитальные вложения, отнесенные на I т производства цемента

$$K_2 = \frac{\sum K}{A_2} = \frac{3770}{1574} = 2,40 \text{ руб.}$$

Т а б л и ц а 4

Показатели эффективности производства специальных сланцезольных портландцементов на заводе "Пунане Кунда"

Объем производства	млн т	1,574
Расход фракций летучей сланцевой золы	млн т	0,445
Расход клинкера	млн т	1,029
Расход песка	млн т	0,100
Годовой народнохозяйственный эффект	млн руб	23,8
Общий годовой эффект в сфере производства цемента	млн руб	15,4
В том числе		
а) прирост годовой прибыли на цементном заводе	млн руб	7,5
б) условная экономия в капиталовложениях в сфере произв. цемента в год	млн руб	7,9
Условная годовая экономия цемента	млн т	1,0
Годовой эффект на транспорте	млн руб	2,28

Для исходного варианта средневзвешенная цена цемента

$$C_1 = 18,32 \text{ руб/т [2].}$$

Средневзвешенная цена по расчетному варианту

$$C_2 = 20,18 \text{ руб/т.}$$

Транспортные расходы определялись на основе тарифов на грузовые железнодорожные перевозки [5].

Показатели экономической эффективности от полного перехода цементного завода "Пунане Кунда" на производство специальных сланцезольных портландцементов, определенные на основе вышеприведенных исходных данных, приведены в таблице 4.

### Л и т е р а т у р а

1. Сланцезольный портландцемент /Сост. В. Кикас, А. Хайн, Р. Отсман, Х. Исон. - Таллин: Ээсти раамат, 1987.

2. Д о к е л и н С.А. Экономическая эффективность производства сланцезольных портландцементов // Тр. Таллинск. политехн. ин-та. - 1985. - № 602. - С. 77-84.

3. Д о к е л и н С.А., К и к а с В.Х. Экономические исследования по сланцезольным вяжущим // Тр. Таллинск. политехн. ин-та, Серия А. - 1968. - № 272.

4. Гипроцемент. Цементный завод "Пунане Кунда". - Технико-экономический расчет годового эффекта от повышения качества цемента и дополнительного использования сланцевой золы. Инв. № 1308/478.-Л., 1981.

5. Госкомитет цен Совета Министров СССР. Прейскурант № 10-01. Тарифное руководство № 1: Тарифы на грузовые железнодорожные перевозки. Прейскурант.-М., 1982.

V. Kikas, A. Hain, Ü. Seidmann

Technical and Economic Efficiency of Oil-Shale Fly-Ash  
Cements with Specific Properties

Abstract

The properties of specific oil-shale fly-ash Portland cements are given. These cements are to be produced in the nearest future.

Technical and economic grounds of the increase of the production of these cements in Estonia are given. The total output will be about 1,57 million tons per year and the economic effect will be about 23,8 million roubles.

V. Kikas, A. Hain, Ü. Seidmann

Spetsiaalsete põlevkivituhk-portlandtsementide  
tootmise tehnilis-majanduslik efektiivsus

Kokkuvõte

Artiklis käsitletakse lühemal ajal tootmisse kavandatud spetsiaalsete põlevkivituhk-portlandtsementide omadusi.

Antakse tehnilis-majanduslik hinnang spetsiaalsete põlevkivituhk-portlandtsementide tootmise laiendamisele Eesti NSV tsemenditehases "Punane Kunda". Tootmise maht on 1,57 milj. tonni. Aastast rahvamajanduslikku efekti hinnatakse 23,8 milj. rublale.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ФАЗ В РАЗНЫХ ФРАКЦИЯХ  
БУРУГОЛЬНЫХ ЗОЛ

При сжигании твердых топлив в топках котлоагрегатов ТЭС в пылевидном состоянии получаемый твердый остаток — летучая зола — будет иметь в зависимости от состава минеральной части топлива и системы золоулавливания более или менее колеблющийся состав. Если в золе от сжигания каменного угля эти колебания сравнительно незначительные, то золы бурых углей и горючих сланцев имеют более существенное различие состава и свойств. Это обусловлено, как показали исследования летучей золы сланца-кукерсита [1, 2], в основном тем, что разные фазы в золе концентрируются в частицах разной крупности. На основе этого и принят селективный метод использования золы в виде трех фракций, состав и свойства которых меняются уже в более узких пределах.

Золы бурых углей до сих пор с этой точки зрения не изучены, однако, учитывая близкий к сланцевым золам химический состав, здесь должны проявляться аналогичные закономерности.

Пробы зол бурых углей в некоторых случаях показывают довольно низкую пластифицирующую способность, одной из причин которой является довольно высокая неоднородность зернового состава, доходящая до I,26 [3]. При фракционировании золы можно уменьшить неоднородность зернового состава и повысить пластифицирующую способность золы. При этом разные фракции, очевидно, будут иметь разный состав. В настоящей статье рассматривается, в каких пределах содержание тех или иных фаз колеблется и какие тут могут быть закономерности.

## Использованные материалы и методика исследования

В исследовании были использованы летучие золы бурых углей двух основных месторождений Канско-Ачинского бассейна — Назаровского и Березовского. Первое из них является топливной базой для Назаровской ГРЭС, а второе — для строящихся Березовской ГРЭС-1 и ГРЭС-2. Пробы зол назаровского угля были отобраны из батарейных циклонов четвертого энергоблока Назаровской ГРЭС (Наз<sub>4</sub>Ц), а пробы зол березовского угля — из электрофильтров седьмого энергоблока в ходе опытного сжигания этого угля на Назаровской ГРЭС (Бер<sub>7</sub>Э).

Пробы зол изучались в лаборатории строительных материалов ТПИ, где они подвергались химическому анализу. Электронно-микроскопические исследования зол проводились в лаборатории электронной микроскопии ТПИ на СЭМ "Тесла BS-300". Рентгеноструктурный анализ проводился на рентгеновском дифрактометре ДРОН-1 с применением  $\text{CuK}\alpha$  излучения и гранулометрический анализ — на центробежном воздушном сепараторе "Бако". На этом же сепараторе проводилось сепарирование золы на 8 фракций — до 2,5; 2,5-4,5; 4,5-6,5; 6,5-10; 10-15; 15-25; 25-30 и более 30 мкм.

У каждой фракции определялось содержание  $\text{CaO}_{\text{св}}$  и  $\text{SO}_3$ , проводились рентгенофазовый и электронно-микроскопические анализы.

## Результаты исследований

Свойства исходных проб приведены в таблице.

Как видно из таблицы, зола назаровского бурого угля по сравнению с березовским имеет повышенное содержание  $\text{SiO}_2$  и соответственно нерасторимого в 3-процентном  $\text{HCl}$  остатка. Содержание  $\text{CaO}_{\text{св}}$  и  $\text{SO}_3$  в исходной назаровской золе — 6,1 и 1,7 %, а березовской — 3,0 и 6,3 % соответственно.

Благодаря содержанию в березовской золе очень мелких частиц (до 1 мкм) ее удельная поверхность на 60  $\text{m}^2/\text{кг}$  больше, и, что очень важно, неоднородность зернового состава значительно превышает тот же показатель для назаровской золы. Поэтому березовская зола имела довольно низкую пластифицирующую способность. Расплав стандартного цементного раст-

вора увеличился при добавлении к цементному клинкеру 30 % этой золы всего лишь на 10–15 мм, в то время как назаровская зола в таком же количестве увеличила расплыв конуса на 20–25 мм по сравнению с эталоном – бездобавочным портландцементом [3].

Т а б л и ц а  
Характеристика проб золы назаровского и березовского углей

Обозначение	Содержание, %							Уд. по верхность, м <sup>2</sup> /кг	d <sub>s</sub> , мкм	Неоднородность зернового состава, σ	
	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	CaO <sub>св</sub>				
Наз <sub>4ц</sub>	32,5	16,8	10,9	32,6	4,7	1,7	6,1	35,5	253	12	0,95
Бер <sub>7б</sub>	25,4	18,4	10,4	32,2	4,5	6,3	3,0	26,7	313	12	1,26

Содержание CaO<sub>св</sub> и SO<sub>3</sub> в зависимости от размера частиц золы приводится на рис. 1. Как видно, распределение этих составляющих в золе по разным ее фракциям не одинаково. Так SO<sub>3</sub> концентрируется в более мелких фракциях с размером частиц в основном ниже 10 мкм, а CaO<sub>св</sub> – во фракциях средней крупности с диаметром зерен от 6 до 16 мкм. Во фракциях с размером зерен ниже 6 мкм происходит резкое снижение содержания CaO<sub>св</sub>. С увеличением размера частиц содержание CaO<sub>св</sub> постепенно снижается. Эти закономерности характерны как для назаровской, так и для березовской золы.

Рентгенограммы фракций назаровской и березовской золы приведены на рис. 2 и 3. Рентгенограммы подтверждают закономерности изменения содержания CaO<sub>св</sub> и ангидрита во фракциях разной крупности, о котором говорилось выше. Содержание 2·CaO·Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (C<sub>2</sub>F), судя по рентгенограммам, в березовской золе немного больше, однако, его распределение в обеих золах одинаково: C<sub>2</sub>F концентрируется в средних фракциях.



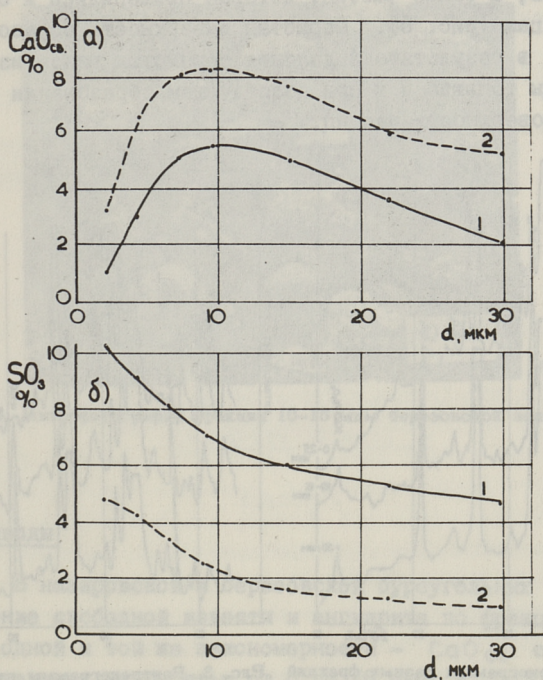


Рис. 1. Содержание  $\text{CaO}_{\text{св}}$  и  $\text{SO}_3$  в частицах разной крупности в березовской (1) и назаровской (2) золах.

Из малоактивных фаз влияние на процессы гидратации зо-лы оказывает лишь стекловидная фаза. Об относительном коли-честве стекловидной фазы в золе можно судить по "галло" с максимумом при  $d = 0,37$  нм на рентгенограммах. Судя по рентгенограммам, больше стеклофазы содержит назаровская зо-ла. При этом она концентрируется в более мелких фракциях зо-лы.

Содержание инертных фаз -  $\alpha$ - кварца выше в назаровской золе и концентрируется он в более крупных фракциях зо-лы, что очень четко видно из рентгенограмм.

Электронно-микроскопическим анализом установлено, что назаровская зола состоит в основном из гладких остеклован-ных с поверхности шарообразных частиц (рис. 4). В березов-

ской золе больше частиц неопределенной формы с пористой поверхностью, а также частиц, которые прилепились к более крупным частицам (рис. 5). Пористая поверхность образовалась, очевидно, в результате выделения сернистых газов из глубины частицы топлива и при последующем образовании ангидрида на поверхности частиц.

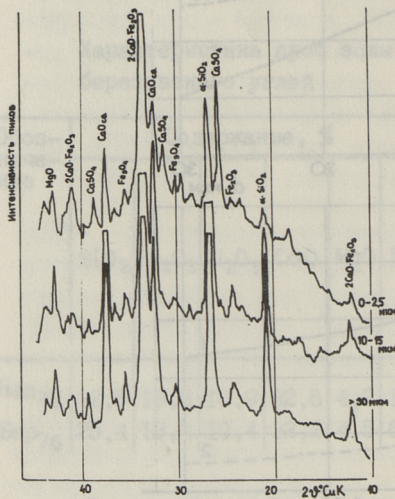


Рис. 2. Рентгенограммы разных фракций назаровской золы.

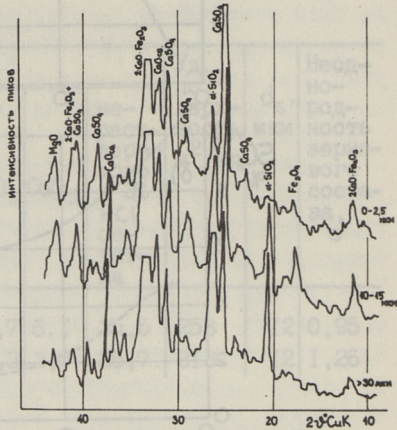


Рис. 3. Рентгенограммы разных фракций березовской золы.



Рис. 4. Микрофотография фракции 10-15 мкм назаровской золы. СЭМ.

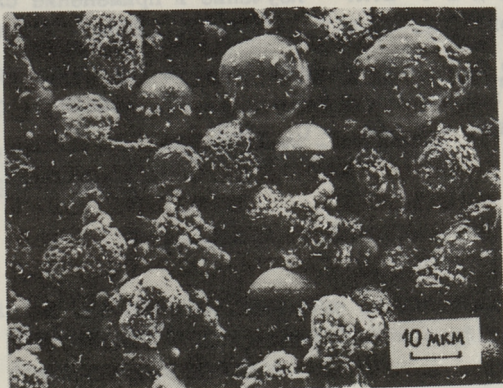


Рис. 5. Микрофотография фракции 10–15 мкм березовой золы. СЭМ.

### Выводы

1. В назаровской и березовской бурогольных золах распределение свободной извести и ангидрита по фракциям подчиняется одной и той же закономерности —  $\text{CaO}_{\text{св}}$  скапливается во фракциях крупностью от 6 до 16 мкм, а  $\text{CaSO}_4$  в мелких фракциях с размером частиц до 10 мкм.

2. Фракции назаровской золы состоят из частиц с гладкой поверхностью. В березовской золе большинство частиц, особенно в более крупных фракциях, имеют пористую поверхность и неправильную форму. Этим и объясняется разная пластифицирующая способность изученных зол.

3. Для повышения эффективности использования зол бурых углей в качестве добавок к портландцементу целесообразно производить их фракционирование, что позволяет понизить неоднородность зернового состава и выделить наиболее подходящую часть золы для рациональной ее утилизации.

### Л и т е р а т у р а

1. К и к а с В.Х., К о г е р м а н н Э.Э. Системы золоулавливания Прибалтийской ГРЭС и получаемые в ней виды золы // Тр. Таллинск. политехн. ин-та.—1965. Сер. А.—№ 272. — С. 3–14.

2. К и к а с В.Х. Изучение и применение сланцезольных цементов: Дис. д.т.н. - Таллин, 1973. - 365 с.

3. И о о н Х.Ф. Влияние добавки зол бурых углей на активность золопортландцементов // Тр. Таллинск. политехн. ин-та. - 1985. - № 602. - С. 25-37.

H. Joon, V. Nurm

Distribution of Phases in Various Fractions  
of Lignite Fly-Ashes

Abstract

The fractional composition and the properties of various fractions of fly-ashes of lignites from Nazarovo and Beryozovo mines have been examined.

As a result of a complex investigation of fly-ashes and their fractions, which included granulometric, chemical, X-ray and electron-microscopic analyses, it has been shown that various phases of fly-ash concentrate in particles of various sizes.

According to activity the phases of lignite fly-ash can be divided into three groups: active phases - free lime and anhydrite, low-activity phases - glassy phase and inert phases -  $\alpha$ -quartz. The principal phases concentrate in the particles of various sizes: free lime in medium-size fractions ( $6...16\mu$ ) and anhydrite in fine fractions (below  $10\mu$ ). Quartz is concentrated in coarser fractions. The electron-microscopic analyses show that Nazarovo fly-ash consists mostly of sphere-formed glassy particles and Beryozovo fly-ash of particles with porous surface. Therefore, before its use as an additive in Portland cement fly-ash must be selected into fractions.

H. Joon, V. Nurm

Faaside jaotus pruunsöetuha erinevates  
fraktsioonides

Kokkuvõtte

Artiklis käsitletakse Nazarovo ja Berjozovo leiukoha pruunsöe põletamisel saadava tuha fraktsioonilist koostist ning eri fraktsioonide omadusi.

Tuhkade ja nende fraktsioonide granulomeetrilise ja keemilise, röntgen- ja elektronmikroskoopilise analüüsi tulemused on näidanud, et tuha erinevad faasid kontsentreeruvad eri suurusega osakestes. Aktiivsuse järgi võib pruunsöetuhas leiduvaid faase jaotada 3 gruppi: aktiivsed (vaba lubi, anhüdriit, dikaltsiumferriit), väheaktiivsed (klaasifaas, periklass) ja inertsed ( $\alpha$ -kvarts). Kõige olulisematest faasidest kontsentreerub vaba lubi keskmise tera suurusega fraktsioonides (6...16  $\mu$ ), anhüdriit ja klaasifaas tuha peenemates fraktsioonides (alla 10  $\mu$ ) ning  $\alpha$ -kvarts jämedamates fraktsioonides.

Nagu nähtub elektronmikroskoopilistest analüüsist, koosneb Nazarovo tuhk põhiliselt pinnalt sulanud kerakujulistest osakestest, Berjozovo tuhk aga ebakorrapärastest poorse pinnaga tuhaosakestest. Seega tuleks tsemendi lisanadina kasutatav tuhk eelnevalt fraktsioneerida.

ЗАВИСИМОСТЬ АКТИВНОСТИ ЗОЛЬНЫХ ЦЕМЕНТОВ ОТ  
КАЧЕСТВА ЗОЛЫ

До сих пор исследовались цементы с добавкой летучей сланцевой золы, в основном сланцезолные портландцементы, в которых в качестве добавок использовались высококачественные золы с модулем качества  $\geq 310$ , в количестве 20 - 30 %. В этих исследованиях использовался клинкер с гидравлической активностью 43,0-50,0 МПа, что в основном имеет место на цементном заводе "Пунане Кунда". Менее изучены клинкеры с гидравлической активностью ниже 40 МПа, поэтому возникает вопрос, как влияет низкая активность клинкера на прочностные свойства зольных цементов.

В данной статье рассматриваются свойства бездобавочных портландцементов грубого помола с содержанием сланцевых зол. Тонкость помола изучаемых цементов в оценке по остатку на сите 008 соответствовала цементам завода "Пунане Кунда".

Для выявления влияния качества и количества золы на свойства золопортландцементов использовались 2 различных низкоактивных клинкера цементного завода "Пунане Кунда" и 5 фракций летучей сланцевой золы. Физико-химические показатели использованных зол приведены в таблице 1, а бездобавочных портландцементов в таблице 2. Модуль качества зол ( $M_{\text{квч.}} = S/\text{CaO}_{\text{своб.}}$ ) изменяется от 205 до 508,  $S$  - удельная поверхность в  $\text{см}^2/\text{г}$ .

Для решения названных вопросов изготавливались портландцементы с 15, 10 и 30-процентной добавкой фракций летучих зол сланца-кукерсита. Исследовались два клинкера кл. 1 и кл. 2 с одинаковым содержанием щелочей, но разным содержанием  $\text{SO}_3$  (1,22 и 1,57 %).

Т а б л и ц а 1  
Физико-химические показатели сланцевых зол

Наименование золы	Удельная поверхность, см <sup>2</sup> /г	CaO <sub>своб.</sub> , %	SO <sub>3</sub> , %	M <sub>квч.</sub>
19 E <sup>2</sup>	2220	10,8	7,66	205
II E <sup>2</sup>	2860	12,8	7,12	223
25 E <sup>I</sup>	2370	7,9	8,48	300
III E <sup>I</sup>	3860	9,3	9,75	415
IV силос	3750	7,4	10,36	508

Т а б л и ц а 2  
Физико-химические показатели бездобавочных портландцементов

Наименование материала	Содержание в клинкере			Продолжительность помола, мин.	Тонкость помола		R <sub>сж</sub> <sup>28</sup> /R <sub>узг</sub> <sup>28</sup> МПа
	CaO <sub>св</sub> , %	SO <sub>3</sub> , %	K <sub>2</sub> O, %		уд. по-верхность, м <sup>2</sup> /кг	остаток на сите № 008	
Кл. 1 (июнь 1986 г.) + 4 % гипса	0,6	1,57	1,33	30	271	12,0	36,2/7,0
То же	0,6	1,57	1,33	40	284	9,6	37,3/6,7
Кл. 2 (сентябрь 1986 г.) + 4 % гипса	1,2	1,22	1,28	30	267	11,8	37,2/7,1
То же	1,2	1,22	1,28	40	274	9,6	40,0/7,1

Избранные клинкера предварительно дробились в щековой дробилке, а потом размалывались в лабораторной шаровой мельнице до тонкости помола по остатку на сите № 008 ~ 20 %. После этого производили помол клинкера совместно с фракцией золы в лабораторной шаровой мельнице до тонкости помола по остатку на сите № 008 в первом случае 10 %, во втором ≤ 7 %. Этот результат был достигнут в первом случае за 30 минут, во втором случае за 40 минут. Для сравнения с

такой же тонкостью помола изготавливались портландцементы на основе названных клинкеров с добавкой 4 % гипса.

По методике ГОСТ 310.4-81 изготавливались образцы из раствора состава 1:3 (вяжущие: вольский песок), при равной консистенции раствора (расплыв конуса II3-II5 мм). Образцы твердели в нормальных условиях. Прочностные показатели образцов определялись в возрасте 28 суток и приведены в таблице 3.

Т а б л и ц а 3

Прочностные показатели образцов нормального твердения из портландцементов с добавкой зол

Состав цемента				Тонкость помола			Прочность раствора в возрасте 28 суток, МПа	
Клинкер		Зола		продолжительность помола, мин	остаток на сите № 008, %	уд. поверхность, м <sup>2</sup> /кг	R <sub>уз</sub>	R <sub>сж</sub>
обоз.	сод. в цементе, %	M <sub>кач</sub>	сод. в цементе, %					
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Кл. I	85	205	15	30	II,9	257	5,9	35,5
"	80	205	20	30	II,0	263	6,3	37,4
"	75	205	25	30	II,8	263	6,2	38,6
"	70	205	30	30	II,0	268	6,9	35,6
"	85	205	15	40	8,0	281	6,0	36,3
"	80	205	20	40	7,4	286	6,1	37,5
"	75	205	25	40	7,4	277	6,6	38,9
"	70	205	30	40	7,4	285	5,9	37,1
Кл. 2	85	205	15	30	9,4	261	6,4	36,1
"	80	205	20	30	9,4	264	6,3	37,1
"	75	205	25	30	9,4	262	6,0	38,1
"	70	205	30	30	9,4	264	6,6	37,7
"	85	205	15	40	7,6	278	6,7	36,1
"	80	205	20	40	7,0	282	6,3	37,2
"	75	205	25	40	6,8	282	6,3	38,2
"	70	205	30	40	6,6	283	6,4	37,8
Кл. I	85	223	15	30	9,6	262	6,5	34,8
"	80	223	20	30	8,6	267	6,6	36,6



I	2	3	4	5	6	7	8	9
Кл. I	75	223	25	30	7,6	273	6,9	39,8
"	70	223	30	30	7,0	275	6,2	37,6
"	85	223	15	40	7,8	275	6,8	36,8
"	80	223	20	40	7,4	286	6,6	37,9
"	75	223	25	40	6,8	285	7,0	40,4
"	70	223	30	40	6,6	297	6,5	39,8
Кл. 2	85	223	15	30	8,5	259	6,6	37,2
"	80	223	20	30	6,6	269	6,7	38,4
"	75	223	25	30	5,8	269	7,1	39,8
"	70	223	30	30	5,8	269	7,0	38,8
"	85	223	15	40	5,8	284	6,6	37,1
"	80	223	20	40	4,8	284	6,7	39,2
"	75	223	25	40	4,6	286	6,7	40,8
"	70	223	30	40	4,6	286	7,2	40,4
Кл. 1	85	300	15	30	10,0	245	7,2	37,5
"	80	300	20	30	8,2	251	7,4	40,6
"	75	300	25	30	7,8	254	7,6	40,3
"	70	300	30	30	7,8	256	6,4	37,8
"	85	300	15	40	8,0	260	7,4	38,6
"	80	300	20	40	6,6	270	7,2	41,4
"	75	300	25	40	6,0	272	7,7	44,8
"	70	300	30	40	6,0	273	7,1	43,9
Кл. 2	85	300	15	30	8,8	259	7,4	38,8
"	80	300	20	30	7,4	259	7,4	41,5
"	75	300	25	30	6,8	255	7,7	43,0
"	70	300	30	30	6,0	261	7,2	44,7
"	85	300	15	40	6,4	276	7,2	40,4
"	80	300	20	40	5,4	276	7,7	43,4
"	75	300	25	40	5,4	278	7,3	44,9
"	70	300	30	40	4,4	284	7,0	45,2
Кл. I	85	415	15	30	8,8	273	7,2	41,2
"	80	415	20	30	8,0	293	7,3	42,9
"	75	415	25	30	7,4	295	7,7	46,5
"	70	415	30	30	6,8	296	7,0	47,0
"	85	415	15	40	4,6	291	7,8	42,5
"	80	415	20	40	5,4	304	7,6	45,1
"	75	415	25	40	4,8	311	7,8	47,3

I	2	3	4	5	6	7	8	9
Кл. 1	70	415	30	40	4,8	325	7,8	48,1
Кл. 2	85	415	15	30	7,7	286	7,1	39,7
"	80	415	20	30	6,0	291	7,0	44,3
"	75	415	25	30	6,0	294	6,9	45,2
"	70	415	30	30	5,4	307	7,1	46,2
"	85	415	15	40	6,0	295	7,2	42,0
"	80	415	20	40	4,6	305	7,6	44,6
"	75	415	25	40	4,6	313	7,4	46,5
"	70	415	30	40	4,3	320	7,7	47,3
Кл. I	85	508	15	30	9,0	270	7,6	43,2
"	80	508	20	30	8,0	285	7,8	45,6
"	75	508	25	30	7,6	291	7,6	47,5
"	70	508	30	30	5,4	306	8,0	48,3
"	85	508	15	40	7,4	279	7,1	44,5
"	80	508	20	40	5,0	308	7,6	46,2
"	75	508	25	40	4,6	312	7,8	48,4
"	70	508	30	40	4,2	318	8,3	50,4
Кл. 2	85	508	15	30	8,4	272	7,0	39,5
"	80	508	20	30	7,0	284	7,1	44,5
"	75	508	25	30	6,0	283	7,2	47,0
"	70	508	30	30	5,6	295	7,3	46,9
"	85	508	15	40	5,0	286	6,8	41,8
"	80	508	20	40	4,9	305	7,1	45,6
"	75	508	25	40	4,8	306	6,9	47,6
"	70	508	30	40	4,6	306	7,2	47,2

Оптимальным содержанием золы в цементе является 25 - 30 %. Лишь в случае золы с низким модулем качества содержание свободной извести в цементе достигает > 3 % и это приводит к снижению гидравлической активности цемента. Из данных таблицы 3 следует, что 28-суточная прочность образцов нормального твердения с 30-процентной добавкой золы меньше прочности образцов на портландцементе с 25-процентной добавкой золы, если использовалась зола с модулем качества 205 и 223. При 30-процентной добавке указанных фракций содержание свободной извести в цементе колеблется в пределах 3-4,6 %.

Гидравлическая активность цемента, изготовленного на базе низкоактивного клинкера и летучей сланцевой золы с модулем качества 205, остается ниже 40,0 МПа, т.е. эти вяжущие при данной тонкости помола не удовлетворяют требованиям марки 400. При изготовлении цементов на базе этих же клинкеров и фракции золы с модулем качества 223 прочность при сжатии портландцементов с 25-процентной и 30-процентной добавкой зол превышает 40 МПа, т.е. эти вяжущие удовлетворяют требованиям марки 400, если тонкость их помола по остатку на сите 008 ниже 7%. При увеличении модуля качества фракции золы активность золопортландцементов повышается, причем тем больше, чем выше модуль качества золы.

Увеличение дозировки золы в золопортландцементов вызывает уменьшение водоцементного отношения. Уменьшение водоцементного отношения обусловлено округлыми оплавленными частицами золы, которые придают цементному раствору подвижность. Водоцементное отношение стандартного раствора золопортландцементов с 25-процентной добавкой золы на 0,03-0,05 ниже водоцементного отношения стандартного раствора портландцемента. Уменьшение водоцементного отношения на 0,01 увеличивает прочность раствора золы портландцемента на базе кл. 1 на 1,8 МПа и на базе кл. 2 на 1,5 МПа.

Гидравлическая активность золы портландцементов существенно зависит от модуля качества золы. С увеличением тонкости помола золы увеличивается  $M_{\text{кач}}$  золы, улучшается зерновой состав золы, увеличивается относительное количество стекловидной фазы в золе, что влечет за собой увеличение гидравлической активности цемента с добавкой этих зол. Если модуль качества золы "300", при 15-процентной добавке золы к кл. 1 и кл. 2 гидравлическая активность за 28 суток нормального твердения повышается на 0,4-1,6 МПа, при 20-процентной добавке - на 3,4-4,4 МПа и 25-30-процентной добавке -- на 5,0-6,5 МПа. Гидравлическую активность еще больше увеличивает фракция золы с более высоким  $M_{\text{кач}}$ .

При использовании клинкера с малой активностью целесообразно использовать фракции летучих сланцевых зол с модулем качества  $\leq 200-230$ , так как при этом могут снизиться прочностные показатели портландцемента, т.е. марка цемента может снизиться.

Из низкоактивных клинкеров с  $R^{28} \leq 40$  МПа целесообразно изготавливать золопортландцементы с использованием мельчайшей фракции летучей золы с  $M_{\text{коч}} \geq 310$  в количестве 20 - 30 %. Эти цементы эффективны как при нормальном твердении, так и при пропаривании.

V. Nurm, E. Piksarv

Influence of the Quality of Fly-Ash upon  
the Activity of Fly-Ash Portland Cement

Abstract

The fractions of oil-shale fly-ash with various moduli of quality ( $M_{\text{qual.}}$ ) have been used as an additive to a low-quality Portland cement clinker.

If such clinker is used the addition of fractions of fly-ash with  $M_{\text{qual.}}$  lower than 200-220, cannot be recommended, otherwise the activity of Portland cement will lower. In this case a 20-30 % additive of the fly-ash fractions with  $M_{\text{qual.}} \geq 310$  is recommended.

V. Nurm, E. Piksarv

Tuhktsementide hüdraulilise aktiivsuse  
sõltuvus tuha kvaliteedist

Kokkuvõtte

On uuritud madalakvaliteetsest klinkrist valmistatud tuhktsementide tugevusnäitajaid. Töös on uuritud 2 klinkrist ja 5 põlevkivilendtuha (kvaliteedimoodul 205 kuni 508) valmistatud tuhktsementide tugevusnäitajaid. Madalakvaliteetse klinkri korral ei ole otstarbekohane kasutada põlevkivituhkasid kvaliteedimooduliga  $\leq 200-220$ , sest see võib alandada portlandtsementide tugevusnäitajaid. Madalamargilisest klinkrist valmistatud põlevkivituhk-portlandtsementis kasutatud lendtuha kvaliteedimoodul peab olema vähemalt 310.

ДЕФОРМАЦИИ КРУПНОЗЕРНИСТЫХ ЗОЛОПОРТЛАНДЦЕМЕНТНЫХ  
БЕТОНОВ ПРИ ИХ ЗАМОРАЖИВАНИИ

Морозостойкость бетонов зависит, в первую очередь, от структуры пористости. Т. Пауэрсом [1] и Г.И. Горчаковым [2] разработан дилатометрический метод, который связывает между собой структуру пористости и деформации при замерзании бетона. Данная зависимость выражается в виде дилатометрической кривой, с помощью которой можно охарактеризовать структуру пористости бетона. Дилатометрические исследования мелкозернистых бетонов показали довольно тесную связь между видом дилатометрической кривой и морозостойкостью бетонов. На дилатометрической кривой найдены характерные точки, в которых деформации усадки переходят в расширение и по параметрам этих точек можно характеризовать морозостойкость бетонов [3]. Мелкозернистые бетоны служат достаточно хорошей моделью, поскольку здесь доля цементного камня значительно больше, чем в крупнозернистом бетоне. Поэтому процессы в структуре бетона от перехода воды в лед более четко выражены.

В то же время в строительстве применяются в основном крупнозернистые бетоны. Это уже более сложная система и исследования на этой модели затруднены. Несмотря на это, было бы целесообразно, на примере мелкозернистых бетонов, разработать методику определения ориентировочной морозостойкости крупнозернистых бетонов на основе параметров дилатометрических кривых. В настоящей статье приводятся результаты дилатометрических исследований крупнозернистых бетонов и делается анализ этих кривых с учетом закономерностей, выявленных при дилатометрических исследованиях мелкозернистых бетонов.

## Материалы и методика исследований

Бетоны изготовлялись на цементах, обычно применяемых в бетонах, к которым предъявляются повышенные требования по морозо- и сульфатостойкости. Это в первую очередь специальные сульфатостойкие портландцементы, а также сланцезольный портландцемент, который обладает равной с ними сульфатостойкостью. Для сравнения применялся бездобавочный портландцемент.

Применялись цементы завода "Пунане Кунда" - сланцезольный сульфатостойкий портландцемент с добавкой трепела (ССзПЦ), сланцезольный портландцемент (СзПЦ) и сульфатостойкий портландцемент (СПЦ) марки "400" ПО "Вольскцемент". Сланцезольный портландцемент, производимый на основании РСТ ЭССР 213-84, составляет около четверти всей продукции завода. Опытная партия сульфатостойкого сланцезольного портландцемента была выпущена в 1985 году в объеме 730 тонн.

Лабораторные цементы аналогичных составов были изготовлены на основе клинкера Рижского цементного завода, обозначенного К-II. Подбор клинкера производился с учетом результатов проведенных ранее исследований, в которых бетоны на основе цементов из рижского клинкера показали более низкую морозостойкость в сравнении с другими клинкерами. При пониженной морозостойкости клинкера влияние добавки золы на морозостойкость выражается более отчетливо.

В качестве добавок применялись мельчайшая фракция летучей золы сланца-кукерсита (МФЛСз) с  $M_{квч} = 459$  и трепел.

Цементы готовились совместным помолом предварительно молотого клинкера и добавок в течение 30 минут.

Марка СзПЦ и ССзПЦ - "500", а ПЦ - "400", как в случае цементов заводского, так и лабораторного изготовления.

Тяжелые бетоны изготовлялись на основе кварцевого песка карьера Мяннику и гранитного щебня из Падисе. Песок для бетона дозировался в виде двух фракций - 30 % фракции 0,63-5 мм и 70 % фракции < 0,63 мм. При этом модуль крупности песка был 2,1.

С целью предотвращения влияния органики и глинистых примесей на морозостойкость бетона в исследованиях приме-

нялись промытые заполнители. Щебень дозировался в виде двух фракций - 5-10 мм и 10-20 мм. Приготовление бетонной смеси производилось в лабораторном смесителе принудительного действия. Время перемешивания всухую - 1 минута и после добавления воды - еще 2 минуты. Смеси изготавливались при ОК-5 - 7 см при среднем расходе цемента 350 кг/м<sup>3</sup>. У бетонных смесей определялись воздухосодержание и плотность. По плотности определялся фактический состав бетонной смеси. Воздухосодержание смеси определялось компрессионным методом.

Из бетона изготавливались образцы размерами 7х7х28 см с реперами в торцах, с которыми проводились dilatометрические исследования и размерами 10х10х10 см для определения прочности. Бетоны твердели во влажных условиях при +20 °С и испытывались в возрасте 7, 28 и 540 суток.

Dilatометрические исследования бетонов проводились по методике, разработанной Г.И. Горчаковым [2]. Dilatометрические исследования проводились в климатической камере "Нема-500" в интервале температур от +10 до -50 °С. Время изотермической выдержки образцов при каждой температуре (снижение температуры производилось с интервалом 10 °С) составляло 1 час. При этом, как показали опыты, данная температура достигается по всему объему образца. В качестве эталона применялась кварцевая трубка.

### Результаты исследований

Состав и свойства бетонов приводятся в таблице I. Бетоны на зольных портландцементях имеют в сравнении с эталонами ПЦ и СПЦ В/Ц ниже на 0,04-0,07. Их прочность соответственно на 8-15 МПа выше. Воздухосодержание бетонов на промышленных цементях, за исключением СПЦ, немного выше, чем на лабораторных цементях. При этом их прочность на 5-8 МПа ниже.

Dilatометрические кривые представлены на рис. 1 и 2. При снижении температуры с 0 до -5 °С у бетонов наблюдается расширение в сравнении с эталоном - кварцевой трубкой, что соответствует переходу воды в лед в капиллярных порах. Здесь напряжения, благодаря более высокой плотности крупнозернистого бетона не релаксируются. В мелкозернистых бето-

Таблица I

## Состав и свойства бетонов

№ п/п	Обозначение	ОК, см	Состав смеси, кг/м <sup>3</sup>				В/Ц	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Воздухо-держа-ние, %	Прочность, МПа в возрасте суток		
			це-мент	пе-сок	ще-бень	вода				7	28	540
1.	Щ (К-II)	5,3	359	740	1140	183	0,52	2412	1,88	27,2	39,0	46,4
2.	СзЩ (К-II)	7,0	357	755	1163	161	0,45	2436	2,16	39,8	53,8	69,5
3.	ССзЩ (К-II)	4,8	351	742	1143	174	0,49	2382	3,37	21,2	33,6	42,2
4.	Щ (пром)	5,0	346	731	1127	181	0,52	2382	3,37	21,2	33,6	42,2
5.	СзЩ (пром)	5,0	355	750	1156	163	0,46	2422	3,27	33,8	44,8	52,9
6.	ССзЩ (пром)	7,0	349	738	1140	166	0,48	2391	3,94	29,5	41,9	54,8
7.	ЩЩ (пром)	6,0	348	736	1133	186	0,53	2412	1,88	18,6	29,4	38,1



нах такого расширения не наблюдалось [3], поскольку там напряжения от перехода воды в лед релаксируются в условно-замкнутых воздушных порах, содержание которых в сравнении с крупнозернистыми бетонами в 2-3 раза больше. С увеличением возраста бетона данный эффект уменьшается, что связано, очевидно, с уменьшением капиллярной пористости бетона.

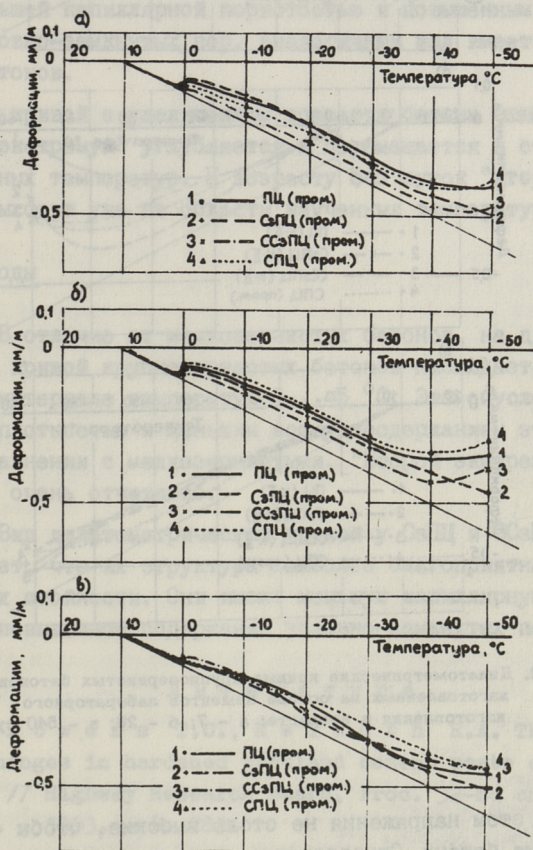


Рис. 1. Дилатометрические кривые крупнозернистых бетонов, изготовленных на основе заводских цементов в возрасте: а - 7; б - 28; в - 540 суток.

При дальнейшем снижении температуры наблюдается усадка бетона, как это имеет место у любого твердого тела. Это обусловлено медленным образованием льда в более мелких по-

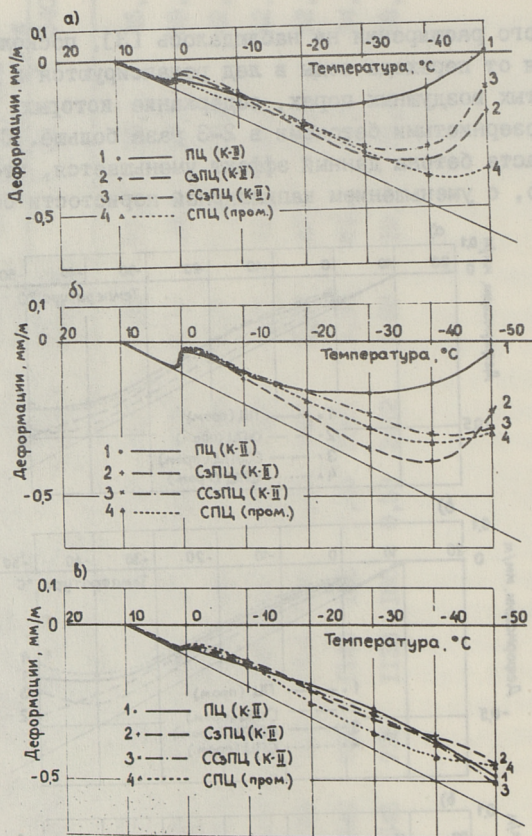


Рис. 2. Дилатометрические кривые крупнозернистых бетонов, изготовленных на основе цемента лабораторного изготовления в возрасте: а - 7; б - 28; в - 540 суток.

рах. При этом напряжения не столь высокие, чтобы вызывать расширение бетона. Одновременно происходит и миграция влаги из мелких пор в более крупные; в результате наблюдается усадка, которая видна на рис. 1 и 2.

При достижении температур  $-30 \dots -40$  °C деформации усадки переходят в расширение и на кривой образуется так называемый "второй экстремум" [3]. Льдом заполняются и бо-

лее мелкие поры и возможности миграции воды в бетоне становятся минимальными. Поэтому напряжения не могут релаксироваться и бетон значительно расширяется.

Как видно из рисунков, СзЩ-бетоны имеют при достижении температур 0...-5 °С наименьшее расширение. Это связано с их меньшей капиллярной пористостью и повышенным содержанием условно-замкнутых пор. Аналогичный вид имеет кривая у ССзЩ-бетонов.

Вид кривой с увеличением возраста бетона изменяется. "Второй экстремум" углубляется и перемещается в сторону отрицательных температур. К возрасту 540 суток "второй экстремум" выходит уже из области изученных температур.

### Выводы

1. В отличие от мелкозернистых бетонов, на dilatометрической кривой крупнозернистых бетонов наблюдается расширение в интервале температур 0...-5 °С. Это обусловлено большей плотностью и меньшим воздухом содержанием этих бетонов в сравнении с мелкозернистыми. "Второй экстремум" выражен не очень отчетливо.

2. Вид dilatометрической кривой у СзЩ и ССзЩ-бетонов показывает, что их структура наиболее благоприятна с точки зрения их стойкости. Они имеют меньшую капиллярную пористость и повышенное содержание условно-замкнутых пор.

### Л и т е р а т у р а

1. P o w e r g y T.C., H e l m u t h R.A. Theory of volume changes in hardened portland cement paste during freezing // Highway Research Board, Proc. 32-nd ann. meet., Wash D.C. - 1953. - P. 285.

2. Г о р ч а к о в Г.И., К а п к и н М.М., С к р а м т а е в Б.Г. Повышение морозостойкости бетона в конструкциях промышленных и гидротехнических сооружений. - М.: Стройиздат, 1965. - С. 29.

3. И о о н Х.Ф., К и к а с В.Х. Деформации мелкозернистых бетонов в ходе цикла замораживания-оттаивания // Тр. Таллинск. политехн. ин-та.-1982.-№ 54I.- С. 3-14.

H. Joon

Deformations of Coarse-Aggregate Heavy Concretes  
During Freezing

Abstract

The deformations at freezing of coarse-aggregate heavy concretes have been examined. Concretes made of both laboratory and industrial cements have been investigated. Oil-shale fly-ash Portland cement, sulphate-resistant oil-shale fly-ash Portland cement and for comparison sulphate-resistant and ordinary Portland cement have been used. The concretes were cured at room temperature  $+20^{\circ}\text{C}$  at 100 % RH.

It has been estimated that dilatometric curves of coarse-aggregate heavy concretes show notable deformations of expansion at the temperature range of  $0...-5^{\circ}\text{C}$ . It is the result of higher density of such concretes when compared with fine-grained concretes. This expansion is the least in case of oil-shale fly-ash Portland cement concrete which has the lowest amount of capillary pores and increased content of "protective air pores".

The "second extremal point" on the dilatometric curves of heavy concretes can be found at lower temperatures, especially in case of long-term cured concretes.

H. Joon

Jämedateraliste tuhkportlandtsementbetoonide  
deformatsioonid külmumisel

Kokkuvõte

Artiklis kirjeldatakse jämedateraliste betoonide külmumisel tekkivaid deformatsioone.

Uuritud on nii laboratooriumis kui tehases tehtud tsementidest valmistatud betoone. Kasutati põlevkivituhk-portlandtsementi, sulfaadikindlat põlevkivituhk-portlandtsementi ning võrdlusena portlandtsementi ja sulfaadikindlat portlandtsementi. Betoonid kivistati normaaltingimustel  $+20^{\circ}\text{C}$  juures.

Selgus, et jämedateraliste betoonide dilatomeetrilistel kõveratel on jälgitavad selgelt väljendunud paisumised temperatuurivahemikus  $0...-5^{\circ}\text{C}$ , mis on tingitud nende betoonide suuremast tihedusest, võrreldes peeneteraliste betoonidega. Põlevkivituhk-portlandtsemendi baasil valmistatud betoonidel on see paisumine väiksem kui ülejäänutel. See on tingitud nende väiksemast kapillaarpoorsusest ja suuremast "suletud" pooride sisaldusest.

Teine ekstreemum tekib jämedateralistel betoonidel mõnevõrra madalamatel temperatuuridel, seda eriti betooni suuremal vanusel.

ВОЗМОЖНОСТИ УЛУЧШЕНИЯ СВОЙСТВ КРУПНОЗЕРНИСТОГО  
БЕТОНА С ДОБАВКОЙ С-3

Для исследования использовали портландцемент М500 п/с "Акмяцементас" с активностью 51,9 МПа.

В качестве заполнителей использовали песок и гравий, полученные из Петрашунайского завода железобетонных опор Литовской ССР. Насыпная плотность песка  $\rho_n^n = 1620 \text{ кг/м}^3$  и модуль крупности  $M_{кр} = 2,31$ . Насыпная плотность гравия  $\rho_n^r = 1650 \text{ кг/м}^3$  и зерновой состав гравия:

Размеры отверстий, мм Частный остаток на сите, %

20	3,2
10	44,6
5	34,2
< 5	18,0

В качестве добавки использовали 9-процентный раствор суперпластификатора (СП) С-3, расход которого устанавливался в процентах сухого вещества добавки от массы цемента. С-3 дозировали с водой затворения.

Расход цемента менялся в пределах 240-480  $\text{кг/м}^3$ , расход песка 650-760  $\text{кг/м}^3$ , расход гравия 1150-1200  $\text{кг/м}^3$ , расход С-3 - до 1,2 %.

Ж смеси поддерживалась на уровнях 2-4, 6-8, 18-20 см.

Равноподажные бетоны твердели в нормальных условиях и проверялись при температуре 80 °С по режиму 2+3+6+2 ч.

Были изготовлены 32 разные бетонные смеси.

Бетонные кубы размерами 10x10x10 см испытывались на сжатие при нормальном твердении в возрасте 7 и 28 суток и при пропаривании - в возрасте 1 и 28 суток.

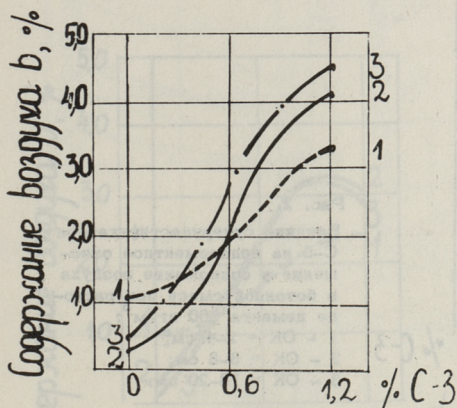
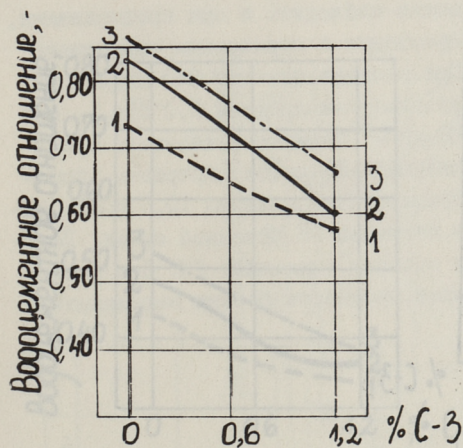


Рис. 1.

Влияние суперпластификатора С-3 на водоцементное отношение и содержание воздуха в бетонной смеси при расходе цемента 240 кг/м<sup>3</sup>:

- 1 - ОК = 2-4 см;
- 2 - ОК = 6-8 см;
- 3 - ОК = 18-20 см.

На рис. 1, 2 и 3 приведено влияние суперпластификатора С-3 на водоцементное отношение и содержание воздуха при разной удобоукладываемости бетонной смеси.

При использовании добавки С-3 до 1,2 % можно снизить расход воды в равноподвижной бетонной смеси при разных составах смеси в среднем на 24 %. Уменьшения водопотребности тем выше, чем больше удобоукладываемость бездобавочной смеси. При расходе цемента 360 кг/м<sup>3</sup> и при изменении ОК смеси в пределах от 2 до 20 см уменьшается расход воды соответственно на 21-29 %, т.е. на 40-66 л/м<sup>3</sup>.

С увеличением содержания С-3 повышается воздухоудерживающая способность бетонной смеси. Самое большое вовлечение воздуха от-

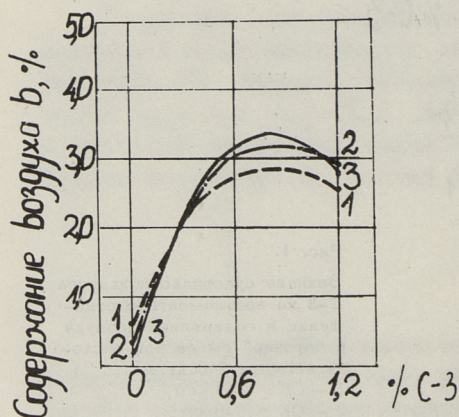
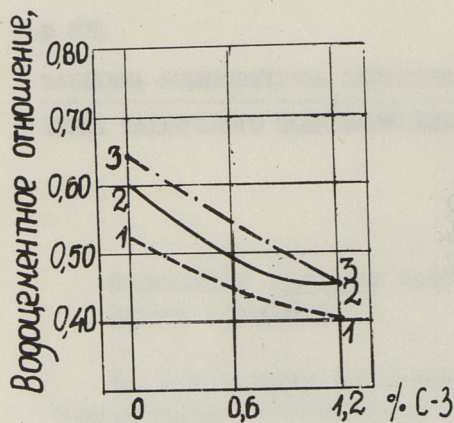


Рис. 2.

Влияние суперпластификатора С-3 на водоцементное отношение и содержание воздуха в бетонной смеси при расходе цемента 360 кг/м<sup>3</sup>:

- 1 - ОК = 2-4 см;
- 2 - ОК = 6-8 см;
- 3 - ОК = 18-20 см.

мечалось при низких расходах цемента и высоких значениях ОК. Например, при расходе цемента 240 кг/м<sup>3</sup> и при содержании С-3 1,2 % воздухововлечение повышается с 3,2 до 4,5 % соответственно при изменении ОК от 2 до 20 см. А при расходе цемента 480 кг/м<sup>3</sup> воздухововлечение изменяется соответственно с 2,4 до 3,1 %.

На рис. 4, 5 и 6 приведено влияние суперпластификатора С-3 на прочность при сжатии бетона при разной удобоукладываемости бетонной смеси. Из этих рисунков видно, что прирост прочности равноплавящего бетона при использовании С-3 зависит от состава бетона, режима твердения и возраста испытанного бетона. Большой прирост прочности при нормаль-



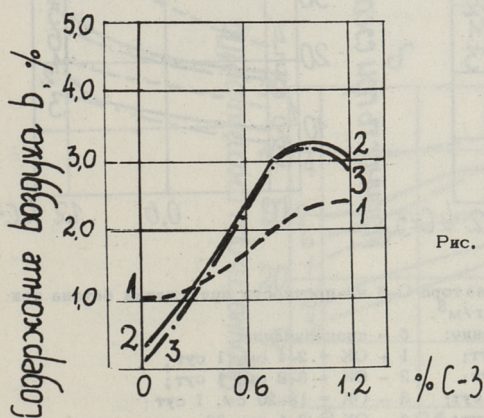
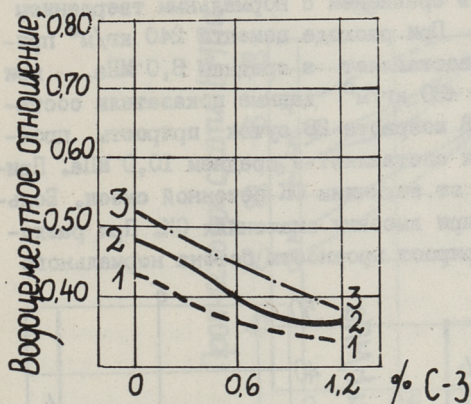


Рис. 3. Влияние суперпластификатора С-3 на водоцементное отношение и содержание воздуха в бетонной смеси при расходе цемента 480 кг/м<sup>3</sup>:  
 1 - ОК = 2-4 см;  
 2 - ОК = 6-8 см;  
 3 - ОК = 18-20 см.

ном твердении отмечается при высоких расходах цемента и ОК смеси. Влияние расхода цемента при нормальном твердении особенно заметно при испытании бетона в раннем возрасте. Если при расходе цемента 240 кг/м<sup>3</sup> прирост прочности бетона нормального твердения в возрасте 7 суток составляет в среднем 12,0 МПа, то при расходах цемента 360 и 480 кг/м<sup>3</sup> данные показатели составили 16,0 и 17,0 МПа. В возрасте 28 суток приросты прочности стабилизируются и составляют в среднем 16,0 МПа при всех вышеуказанных расходах цемента.

Такую же тенденцию можно наблюдать и при пропаривании, но прирост прочности в сравнении с нормальным твердением меньше на 4,0-7,0 МПа. При расходе цемента 240 кг/м<sup>3</sup> прирост прочности бетона составляет в среднем 8,0 МПа, при расходах цемента 360 и 480 кг/м<sup>3</sup> данные показатели составили 10,0 и 12,0 МПа. В возрасте 28 суток приросты прочности стабилизируются и составляют в среднем 10,0 МПа. Прирост прочности зависит от величины ОК бетонной смеси. Большой прирост отмечался при высоких значениях ОК. При расходе цемента 360 кг/м<sup>3</sup> прирост прочности бетона нормального

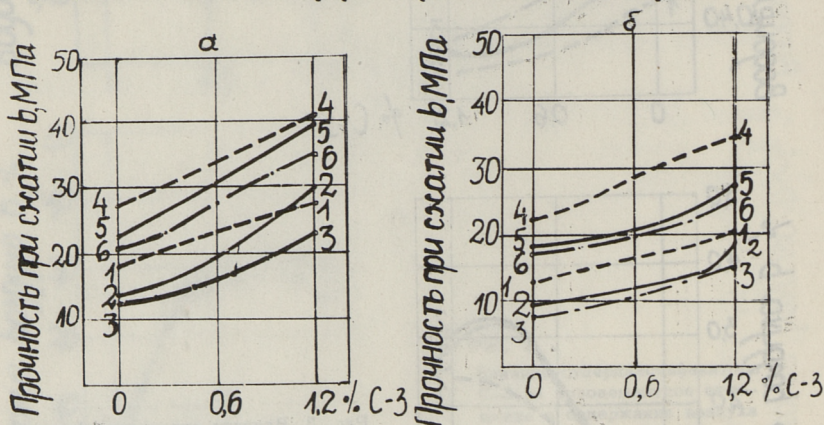


Рис. 4. Влияние суперпластификатора С-3 на прочность при сжатии бетона при расходе цемента 240 кг/м<sup>3</sup>.

а - нормальное твердение:

1 - ОК = 2-4 см, 7 сут;

2 - ОК = 6-8 см, 7 сут;

3 - ОК = 18-20 см, 7 сут;

4 - ОК = 2-4 см, 28 сут;

5 - ОК = 6-8 см, 28 сут;

6 - ОК = 18-20 см, 28 сут;

б - пропаривание:

1 - ОК = 2-4 см, 1 сут;

2 - ОК = 6-8 см, 1 сут;

3 - ОК = 18-20 см, 1 сут;

4 - ОК = 2-4 см, 28 сут;

5 - ОК = 6-8 см, 28 сут;

6 - ОК = 18-20 см, 28 сут;

твердения в возрасте 7 суток, при изменении ОК смеси от 2 по 20 см изменяется в пределах от 12,0 до 21,5 МПа.

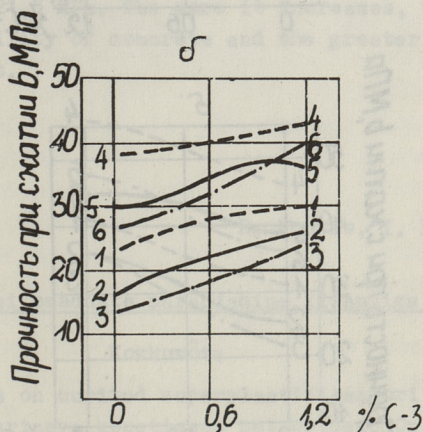
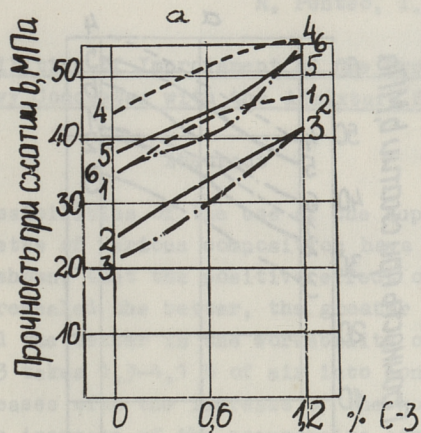


Рис. 5. Влияние суперпластификатора С-3 на прочность при сжатии бетона при расходе цемента 360 кг/м<sup>3</sup>:

а - нормальное твердение:

1 - ОК = 2-4 см, 7 сут;

2 - ОК = 6-8 см, 7 сут;

3 - ОК = 18-20 см, 7 сут;

4 - ОК = 2-4 см, 28 сут;

5 - ОК = 6-8 см, 28 сут;

6 - ОК = 18-20 см, 28 сут;

б - пропаривание:

1 - ОК = 2-4 см, 1 сут;

2 - ОК = 6-8 см, 1 сут;

3 - ОК = 18-20 см, 1 сут;

4 - ОК = 2-4 см, 28 сут;

5 - ОК = 6-8 см, 28 сут;

6 - ОК = 18-20 см, 28 сут.

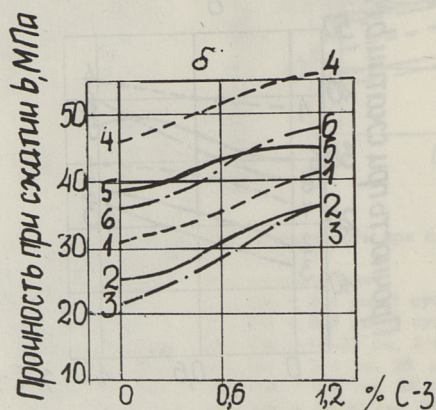
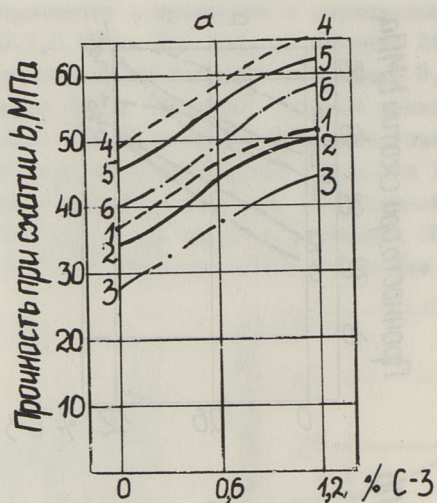


Рис. 6. Влияние суперпластификатора С-3 на прочность при сжатии бетона при расходе цемента 480 кг/м<sup>3</sup>:

а - Нормальное твердение;

1 - ОК = 2-4 см, 7 сут;

2 - ОК = 6-8 см, 7 сут;

3 - ОК = 18-20 см, 7 сут;

4 - ОК = 2-4 см, 28 сут;

5 - ОК = 6-8 см, 28 сут;

6 - ОК = 18-20 см, 28 сут;

б - пропаривание:

1 - ОК = 2-4 см, 1 сут;

2 - ОК = 6-8 см, 1 сут;

3 - ОК = 18-20 см, 1 сут;

4 - ОК = 2-4 см, 28 сут;

5 - ОК = 6-8 см, 28 сут;

6 - ОК = 18-20 см, 28 сут.

R. Puntso, I. Laul

Possibilities of Improvement of the Properties  
of Heavy Concretes with the Admixture S-3

Abstract

The possibilities of the use of the superplasticizer S-3 in concretes of various composition have been examined. It has been shown, that the positive effect of admixture on concrete is revealed the better, the greater is the content of cement and the better is the workability of concrete. The admixture S-3 takes 1,3-4,1 % of air into concrete. Air content increases with the increase of the workability of concrete. The increase of the compressive strength ranges from 10,0 to 21,5 MPa. The more it increases, the better is the workability of concrete and the greater is the cement content.

R. Puntso, I. Laul

Raskbetooni omaduste parandamine lisandiga S-3

Kokkuvõte

Artiklis on uuritud superplastifikaatori S-3 kasutamise võimalusi erineva koostisega betoonides. On näidatud, et lisandi positiivne mõju betooni omadustele väljendub kõige paremini suurematel tsemendihulkadel ning suuremal betooni töödeldavuse astmel. Lisand S-3 viib betoonisegusse 1,3-4,1 % õhku. Õhusisaldus suureneb betoonisegu töödeldavuse suurenedes ja tsemendihulga vähenedes. Survetugevuse tõus lisandi mõjul on 10,0-21,5 MPa, kusjuures suurem efekt saavutatakse betooni suurema töödeldavuse astme ja tsemendikulu juures.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФРАКЦИЙ ЛЕТУЧЕЙ ЗОЛЫ СЛАНЦА-КУКЕРСИТА  
В КАЧЕСТВЕ ДОБАВКИ К БЕТОНАМ

## Введение

Одним весьма важным способом утилизации твердых топлив является использование их в качестве минеральной добавки в цементах и бетонах. Это является важным как с точки зрения экономической, так и экологической. В данной статье рассмотрены возможности использования высококальциевой золы сланца-кукерсита как добавки к бетону.

Одну часть летучей золы сланца-кукерсита, так называемую мельчайшую фракцию сланцевой золы (МФЛСз), модуль качества которой  $M_{\text{кач}}^* \geq 3,1$ , используют как комплексную добавку (18-28 %) к высокомарочному сланцевольному портландцементу (СзПЦ), которая заменяет все другие добавки, в том числе и гипс. На цементном заводе "Пунане Кунда" уже 25 лет производят СзПЦ. За это время его было произведено 4 млн. тонн, и он стал преобладающим цементом в производстве напряженного железобетона в республике. В настоящее время заводом "Пунане Кунда" выпускается примерно 350 тыс. тонн СзПЦ в год.

По данным [1], при использовании зол ТЭС в бетонах различного назначения и экономии цемента 15-30 % экономический эффект может составить 0,6-0,9 руб. на  $1 \text{ м}^3$  бетона. Однако нет достаточной практики такого рода утилизации

\*  $M_{\text{кач}}$  представляет собой отношения удельной поверхности золы и содержания свободной извести и показывает ту долю поверхности летучей золы ( $\text{м}^2$ ), которая заключает в себе 1 г свободной извести:

$$M_{\text{кач}} = \frac{[\text{м}^2/\text{кг}]}{\text{СаО}_{\text{св}} [\text{г/кг}]}$$

высококальциевой золы, например, летучей золы сланца-кукерсита.

Использование этой золы как добавки к бетону требует осторожности из-за высокого содержания в ней  $\text{CaO}_{\text{св}}$  (до 22%) и  $\text{CaSO}_4$  (до 19%).

В СзПЦ, благодаря применению МЛСз, содержание свободной извести может достигать 4,0% и  $\text{SO}_3$  3,5%, в то время как при использовании летучей золы сланца как заместителя цемента в бетоне до 30%; содержание  $\text{CaO}_{\text{св}}$  в смеси может достигнуть 7%, и  $\text{SO}_3$  до 6%, что превышает содержание  $\text{SO}_3$  в портландцементе в 1,5–2 раза.

В таком случае особое внимание следует уделить перемешиванию бетонной смеси и условиям твердения, а так же эксплуатации бетонов.

Основной трудоемкостью при использовании высококальциевой золы, как добавки к бетонам является обеспечение стабильности состава и модуля качества. При использовании золы с нестабильными свойствами невозможно будет достигнуть приемлемой вариации свойств бетона. Однако использование золы как добавки к бетону в условиях мелкого производства имеет и некоторые преимущества по сравнению с крупномасштабным производством СзПЦ совместным помолом золы с портландцементным клинкером. Добавление золы к бетону позволяет более рационально использовать сланцевую золу, а именно использовать в низкомарочных бетонах большее количество крупных фракций золы, чем в высокомарочных.

В условиях крупного промышленного производства строительных материалов желательнее сланцевую золу использовать селективно, по фракциям, которые условно принято называть грубой, мелкой и мельчайшей.

Т а б л и ц а I

Основные характеристики фракции летучей золы сланца-кукерсита

Основные характеристики	Фракции летучей золы		
	крупная	мелкая	мельчайшая
Уд. поверхность, $\text{м}^2/\text{кг}$	50–120	180–250	280–500
Средний размер зерен, $\mu\text{м}$	50–130	12–24	6,5–9
$\text{CaO}_{\text{общ}}$ , %	50–58	36–44	29–36
$\text{CaO}_{\text{св}}$ , %	20–32	12–17	6–12
$\text{CaSO}_4$ , %	4–8	8–12	15–19

Зависимость прочности и расширения мелкозернистого бетона на СзЩ завода "Пунане Кунда" от удельной поверхности золы и ее количества представлена на рис. 1. (На рис. 1,а при 100 % золы, рис. 1,б 70 % золы, 30 % клинкера, на рис. 1,в 25 % золы, 75 % клинкера).

По данным [2], зависимость прочности, расширения и морозостойкости растворов 1:3 (кукермит:песок) представлены на рис. 2.

Чем более грубая, и следовательно, более богатая  $\text{CaO}_{\text{сб}}$  фракция золы используется, тем выше должна быть температура твердения бетона. Из этого следует, что как при нормальном твердении, так и при пропаривании в бетонах следует использовать мелкую и мельчайшую фракции летучей золы сланца кукерсита. Добавки именно этих фракций и рассмотрены в предлагаемой статье.

#### 1. Используемый материал и методика исследования

В опытах применяли портланд- и сланцезольный портландцементы (Щ) лабораторного изготовления. Химический состав клинкера, на основе которого были изготовлены все цементы, приведены в таблице 2.

Т а б л и ц а 2

Химический состав клинкера, %

$\text{CaO}$	$\text{SO}_2$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{MgO}$	$\text{SO}_3$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{CaO}_{\text{сб}}$
62,44	21,00	4,14	6,34	4,56	0,70	0,91	0,14	0,37

При изготовлении мелкозернистых бетонов (далее бетонов) состава 1:3 (вязущее:песок) были использованы три фракции летучей золы сланца-кукерсита, полученные с Прибалтийской ГРЭС. В таблице 3 приведены данные по составу и свойствам этих зол.

Лабораторный Щ имел состав, соответствующий заводскому Щ М400 завода "Пунане Кунда", 80 % клинкера, 5 % гипса, 10 % кварцевого песка и 5 % трепела. Путем добавки гипса содержание  $\text{SO}_3$  доведено до 3,0 %.

При получении СзЩ пользовались указанными золами, причем содержание золы в СзЩ составило 20, 25, 30 и 40 %.



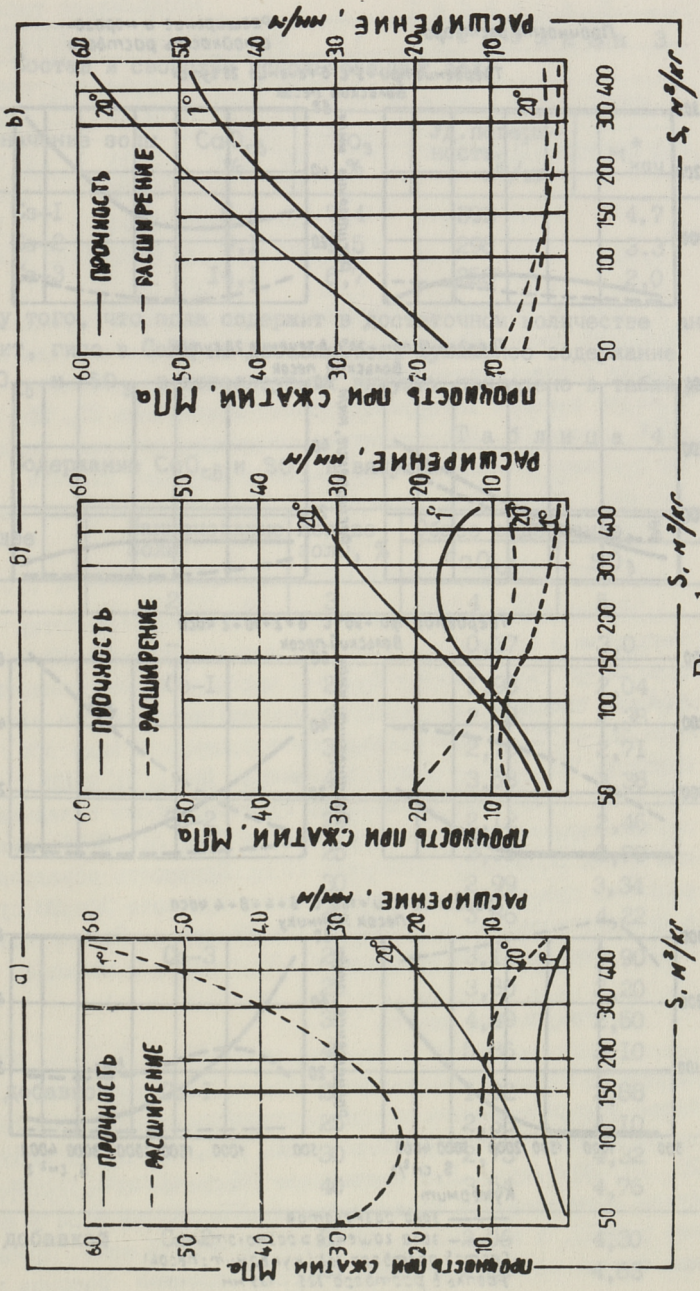
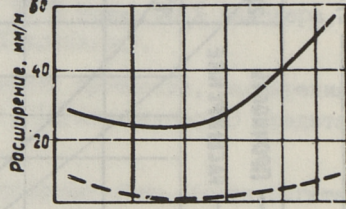
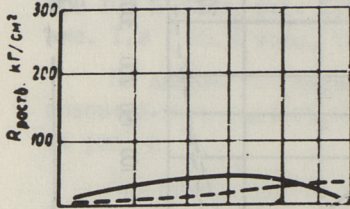


Рис. 1.

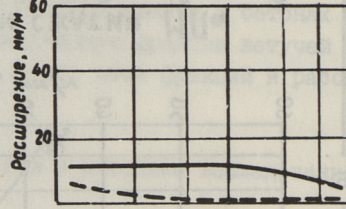
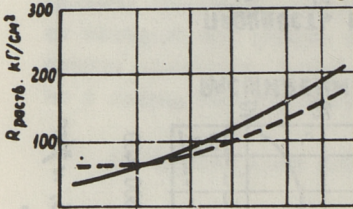
Прочность раствора

Расширение и морозостойкость раствора

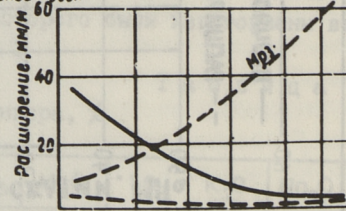
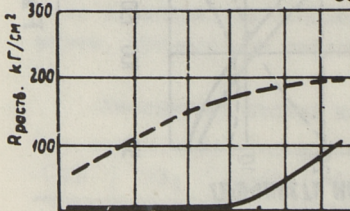
Твердение при  $-5^{\circ}\text{C}$  в течение 28 суток  
Вольский песок



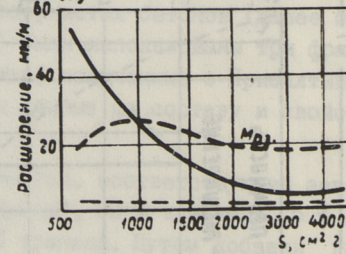
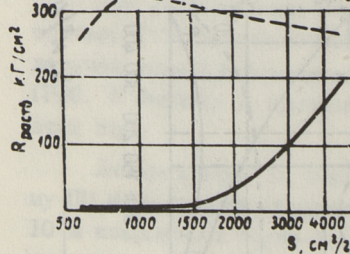
Твердение при  $+20^{\circ}\text{C}$  в течение 28 суток  
Вольский песок



Твердение при  $+90^{\circ}\text{C}$  6+2+10+2 часа  
Вольский песок



Твердение при  $+180^{\circ}\text{C}$  6+4+8+4 часа  
Песок Яммику



Кукермит

— зола размолотая

- - - зола гошеная размолотая

Состав раствора 1:3 (кукермит:песок)

Раств. в растворе 125 ... 135 мм

Рис. 2.

Т а б л и ц а 3

Состав и свойства использованных зол

Обозначение золы	CaO <sub>св</sub> %	SO <sub>3</sub> %	Уд.поверх- ность м <sup>2</sup> /кг	M* кач
Сз-1	8,4	7,4	393	4,7
Сз-2	9,1	9,5	298	3,3
Сз-3	14,1	6,7	258	2,0

Ввиду того, что зола содержит в достаточном количестве ан-гидрит, гипс в СзПЦ не добавляется. Суммарное содержание CaO<sub>св</sub> и SO<sub>3</sub> в используемых вяжущих приведено в таблице 4.

Т а б л и ц а 4

Содержание CaO<sub>св</sub> и SO<sub>3</sub> в вяжущих

Вяжущее	Наименование золы	Кол-во золы, %	Общее содержание, %	
			CaO <sub>св</sub>	SO <sub>3</sub>
I	2	3	4	5
ПЦ	-	-	0,37	3,0
СзПЦ	Сз-1	20	1,98	2,04
		25	2,38	2,38
		30	2,78	2,71
		40	3,58	3,38
СзПЦ	Сз-2	20	2,12	2,46
		25	2,55	2,90
		30	2,99	3,34
		40	3,86	4,22
СзПЦ	Сз-3	20	3,12	1,90
		25	3,80	2,20
		30	4,49	2,50
		40	5,86	3,10
ПЦ с добавкой золы	Сз-1	20	1,92	3,88
		25	2,33	4,10
		30	2,73	4,32
		40	3,54	4,76
ПЦ с добавкой золы	Сз-2	20	2,06	4,30
		25	2,50	4,63

Продолжение табл. 4

1	2	3	4	5
		30	2,94	4,95
		40	3,82	5,60
ПЦ с добавкой зола	Сз-3	20	3,06	3,74
		25	3,75	3,93
		30	4,44	4,11
		40	5,82	4,48

При изготовлении образцов использовался нормальный Вольский песок. При дозировании компонентов сначала производили сухое перемешивание смеси из песка, цемента и золы, а затем с водой затворения. Золой заменялось 20, 25, 30 и 40 % массы ПЦ. Водоцементное отношение выбирали таким, чтобы получить расплыв конуса на ветряивающем столике ИИЗ-ИИ5 мм, причем при расчете В/Ц учитывалась сумма массы цемента и золы.

Приготовление смесей выполняли согласно ГОСТ 310.4-81.

Исследовалось расширение и прочностные свойства при твердении в нормальных условиях и пропаривании при температуре  $85 \pm 5$  °С по режиму 2+3+6+2 часов. После пропаривания образцы твердели во влагонасыщенном воздухе при температуре  $20 \pm 2$  °С, а при нормальном твердении в воде при температуре  $20 \pm 2$  °С. У использованных СзПЦ, ПЦ и ПЦ с добавкой золы определяли нормальную плотность, сроки схватывания и неравномерность изменения объема по ГОСТ 310.3-76, связывания гипса по методу Гудовича [3]. Прочность образцов определяли при нормальном твердении в возрасте 3 и 28 суток, а при пропаривании в возрасте 1 и 28 суток. Расширение образцов определяли в возрасте 7, 28 суток и 9 месяцев.

## 2. Результаты опытов

Данные по прочности образцов указаны в таблице 5. Рассмотрим более подробно данные по средней прочности и расширению бетонов на СзПЦ и ПЦ с добавкой золы к бетону при дозировках 20, 25, 30 % золы. При нормальном твердении в возрасте 3 суток прочность при сжатии образцов на ПЦ на 6,34 % ниже, чем у СзПЦ, а в возрасте 28 суток на 4-25 % ниже. Пропаренные бетоны на ПЦ в возрасте 1 суток прочнее бетонов на

Т а б л и ц а 5

Прочность образцов, МПа

Вяжущее	Обозн. золы	В/Ц	Со- держ. золы, %	Пропаривание 85 +5 °С		Норм. тверд.	
				1 сут.	28 сут.	3 сут.	28 сут.
Щ		0,390		23,9	35,2	25,1	43,2
СзЩ	Сз-1	0,365	20	34,2	42,1	33,1	50,8
		0,360	25	36,1	42,8	33,6	52,5
		0,355	30	35,5	43,1	33,9	53,8
		0,360	40	32,5	41,1	31,7	54,2
	Сз-2	0,355	20	27,9	35,5	28,6	47,1
		0,350	25	30,3	40,1	29,5	48,2
		0,345	30	29,2	38,5	30,1	48,9
		0,365	40	25,1	36,0	25,2	47,3
	Сз-3	0,365	20	26,5	36,5	26,5	45,4
		0,360	25	27,3	37,1	27,3	45,0
		0,360	30	26,4	36,2	26,0	44,5
		0,355	40	23,1	34,4	23,1	43,1
Щ с добавкой золы	Сз-1	0,360	20	32,1	45,3	25,6	44,0
		0,350	25	33,8	44,7	22,5	42,1
		0,345	30	3,5	46,2	18,1	38,8
		0,340	40	33,6	41,8	13,8	34,6
	Сз-2	0,355	20	28,5	39,9	24,4	37,0
		0,350	25	29,1	41,1	20,2	35,9
		0,350	30	30,2	43,4	17,8	35,2
		0,345	40	26,4	37,6	10,2	30,1
	Сз-3	0,360	20	25,1	36,6	22,5	34,0
		0,355	25	24,2	36,0	17,8	20,5
		0,350	30	23,0	35,1	13,6	28,6
		0,350	40	20,1	36,2	9,5	24,1

СзЩ на 12-47 %, а 28 суток на 4-12 %. Из сравнения бетонов на Щ с бетонами на Щ с добавкой золы видно, что при нормальном твердении в возрасте 3 суток прочность Щ с добавкой золы на 12-28 %, а в возрасте 28 суток на 4-28 % ниже. Пропаренные образцы на Щ с добавкой золы в возрасте 1 суток на 1-40 % прочнее Щ, в возрасте 28 суток на 2-29 %.

При нормальном твердении в возрасте 3 суток прочность при сжатии у образцов на ПЦ с добавкой золы на 29-34 % меньше, чем у образцов на СзПЦ, а в возрасте 28 суток соответственно на 21-31 %. Прочность образцов с добавкой золы к бетону при сжатии после пропаривания в возрасте 1 суток составила 90-104 % прочности образцов на СзПЦ, а в возрасте 28 суток 98-108 % прочности. При 40 % замены цемента золой прочность после пропаривания бетонов на ПЦ с добавкой золы в возрасте 1 суток составила 87-104 % соответствующей прочности бетонов на СзПЦ, а в возрасте 28 суток 104-106 %.

Понижение прочности во всех случаях происходит по мере увеличения дозировки золы и уменьшения  $M_k$  используемых зол. При рассмотрении результатов по прочности пропаренных образцов следует также иметь в виду "эффект обоймы" [2], заключающийся в том, что при расширении бетона в относительно малых и жестких формах происходит уплотнение смеси и как следствие может иметь место повышение прочности. Известно, что 1 % линейного расширения снижает прочность на 15 %, а 2 % расширения на 50 %.

Данные по расширению представлены в таблице 6. Свободное расширение образцов на ПЦ с добавкой золы при нормальном твердении в возрасте 28 суток превышает расширения СзПЦ, в 2,5-7,3 раза, а при пропаривании в 1,1-2,8 раза. В возрасте 9 месяцев эти расширения соответственно превышают в 2,5-5,6 раза и 1-1,8 раза расширения бетонов на СзПЦ.

Большее расширение вызвано меньшей дисперсностью зерен свободной извести и тем, что они не подвергаются значительным разрушениям при перемешивании смеси в сравнении с помолом цемента в шаровой мельнице. Кроме того, при добавлении зол в бетоны повышается содержание  $SO_3$  и как следствие - возникновение больших количеств этtringита. Большее расширение может быть также вызвано и недостаточно полным перемешиванием смеси.

По срокам схватывания все составы удовлетворяли требованиям, составы с 40-процентной добавкой золы с более низкими  $M_k$  не выдержали испытания на равномерность изменения объема. Как в случае ПЦ, так и СзПЦ к 1-3 суткам весь свободный гипс полностью связывается, в случае ПЦ с добавкой золы гипс связывается медленнее к возрасту 3-7 суток, что

Расширение образцов в воде, мм/м

Вязущее	Обозн. золь	Содерж. золь, %	Расшире- ние при пропар. мм/м	Пропаривание			Нормальное твердение		
				7 сут.	28 сут.	9 мес.	7 сут.	28 сут.	9 мес.
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10
III	-	-	0,07	0,25	0,42	0,70	0,21	0,21	0,21
СелЩ	Сз-1	20	0,21	0,24	0,14	0,28	0,28	0,37	0,56
		25	0,81	0,14	0,14	0,28	0,37	0,42	0,49
	30	0,47	0,14	0,14	0,42	0,77	0,77	1,07	
	40	1,18	0,14	0,14	0,35	2,8	2,94	3,07	
Сз-2	20	0,21	0,21	0,28	0,42	0,32	0,39	0,56	
	25	0,28	0,21	0,21	0,28	0,42	0,56	0,70	
Сз-3	30	0,47	0,21	0,21	0,28	0,56	0,70	1,00	
	40	1,44	0,35	0,49	0,70	2,90	3,02	3,36	
	20	0,28	0,21	0,21	0,35	0,45	0,56	0,64	
Сз-5	25	0,56	0,28	0,28	0,35	0,88	1,08	1,50	
	30	0,97	0,28	0,28	0,42	1,36	1,58	1,93	
	40	1,50	0,28	0,28	0,49	3,39	3,50	3,79	
III с добав- кой золь	Сз-1	20	0,70	0,21	0,28	0,35	0,21	0,21	0,21
		25	4,00	0,28	0,28	0,42	2,87	2,94	3,08

Продолжение табл. 6

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		30	1,50	0,28	0,35	0,49	4,90	5,11	5,26
		40	3,00	0,28	0,35	0,42	0,72	7,42	7,56
	Сз-2	20	1,00	0,28	0,35	0,49	1,82	1,89	2,03
		25	2,15	0,35	0,42	0,56	4,20	4,39	4,48
		30	2,80	0,28	0,35	0,35	5,39	5,74	5,88
		40	4,40	0,56	0,56	0,63	1,63	8,39	8,39
	Сз-3	20	1,30	0,28	0,42	0,63	1,89	1,96	2,03
		25	2,46	0,42	0,49	0,70	4,34	4,44	4,48
		30	6,35	0,49	0,56	0,70	9,45	9,73	9,94
		40	8,50	0,63	0,70	0,84	12,04	12,6	12,74



обусловлено более высоким содержанием  $SO_3$ . Ввиду того, что связывание гипса в случае смеси ПЩ и золы замедлено, возрастает опасность возникновения коррозии цементного камня.

### 3. Заключение

Результаты исследования показали, что при замене части протландцемента золой можно достигнуть повышения прочности и экономии цемента по сравнению с бетонами на обычном портландцементе. Наиболее эффективное влияние на прочность добавка золы к портландцементу оказывает при пропаривании. Приведенные данные позволяют считать возможным использование летучих фракций золы сланца-кукерсита как добавки к бетонам, однако особое внимание следует обращать на коррозионную стойкость таких бетонов. Для уточнения этого необходимы дополнительные исследования.

### Л и т е р а т у р а

1. П а н т е л е е в В.Г., Л а р и н а Э.А., М е л е н ь т ь е в В.А. и др. Состав и свойства золы шлаков ТЭС: Справочное пособие - Л.: Энергоатомиздат, 1985. - 288 с.

2. К и к а с В.Х. Изучение и применение сланцезольных цементов: Дис. на соискание уч. степени д.т.н. - Таллин, 1973.

3. Г у д о в и ч Л.А. Установление оптимального и предельного содержания ангидрита в портландцементе // Цемент. - 1950. - № 3. - С. 16-21.

V. Kikas, P. Utkin, J. Rass

Cucersite Fly-Ash as an Additive to Concrete

Abstract

The paper examines the possibility of using the cucersite fly-ash with high content of free lime (an average of 10%) as an additive to concrete, partly replacing Portland cement. Tests were carried out with 20, 25, 30, 35% replacement of cement in concrete. On the basis of experimental data it is possible to conclude that the addition of fly-ash up to 30% increases or at least does not decrease strength properties. Strength properties were studied after normal and steam curing at 85 °C. Strength gain is more remarkable after steam curing. Concretes with fly-ashes were compared with concretes on fly-ash Portland cements where the fly-ash contents was the same as above. Also the free gypsum reactivity and expansion of concrete samples were studied. Expansion of samples with the fly-ash additive to the Portland cement is 2-8 times greater than with fly-ash Portland cements. After 3 days of curing none of the concretes contained free gypsum.

V. Kikas, P. Utkin, J. Rass

Kukersiit-põlevkivi lendtuha kasutamine  
betoonide lisandina

Kokkuvõte

Uuriti kõrge lubjasisaldusega põlevkivilendtuha kasutamist betoonide lisandina, asendades nendega osa portlandtsemendist. Uurimistel asendati järgemööda 20, 25, 30, 35 % portlandtsemendist põlevkivilendtuha. Tulemused kinnitavad, et kui tuhka lisada kuni 30 %, betooni tugevusomadused säilivad. Uuriti normaaltingimustel ja aurutamisel kivinenud proovikehade tugevust. Jälgiti proovikehade paisumise ja dünaamilise elastsusmooduli kineetikat pikaajalisel kivinemisel. Tuhalisandi puhul võib betooni proovikehade paisumine olla 2-8 korda suurem kui põlevkivituhk-portlandtsemendi puhul. Samuti uuriti kipsi sidumist. Selgus, et 3 ööpäeva vanuses betoonis sidumata kipsi ei esine.

## ГИПОТЕЗЫ О МЕХАНИЗМЕ ТВЕРДЕНИЯ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТОВ

При анализе методологии изучения портландцементов выясняется, что она заключается, главным образом, в исследовании исходных материалов (клинкер, цемент, вода) и конечных продуктов твердения в зависимости от внешних (Р, Т, влажность) и внутренних (примеси, добавки, тонкость помола) факторов. Для определения характеристик клинкера (цемента, бетона) используется традиционное испытание опытного образца на изгиб-сжатие и сравнение получаемых результатов статистическими методами и методом множественной корреляции, позволяющими сопоставить свойства клинкеров (цементов) различных типов. Недостатком большинства статистических методов является пассивное отношение к объекту исследования, поскольку прогнозирование активности клинкера зачастую не связывают с исследованием механизма процессов или изучением промежуточных состояний. В качестве излюбленного термина для объяснения процесса твердения цемента исследователи используют понятие гидратации, которое автоматически стало основой научного учения о твердении вяжущих.

Одним из главных предметов спора в науке о цементе является обоснованное определение, дающее возможность однозначной интерпретации роли воды в цементном тесте. Достаточно сказать, что из-за нерешенных проблем В/Ц - отношения в технологии приготовления цементных растворов и бетонов возникает ряд трудностей. Технологи решали эти проблемы на ощупь, по набору инструкций, напоминающих кухонные рецепты. Например, приготовьте цементный раствор, поместите его в конус, тридцать раз встряхните на столике и измерьте расплыв конуса. Если расплыв конуса 106-115 мм, тогда затвердевший раствор будет иметь прочность, соответ-

ствующую марку цемента. Однако ясности о всех происходящих процессах в цементном растворе не было, тем более об управлении ими.

"Прояснение" существенно повысилось в 70-е годы в результате развития науки о поверхностях (поверхностная химия или двумерная химия), топонауки (тепозимика, топохимия, топография, топотаксия, топология), электрохимии, коллоидной химии, капиллярной химии, теории твердого тела (кристаллического, переходного и аморфного), теории растворов и микропленочной электроники. Однако уровень понимания технологии цементных растворов и бетонов остался на уровне метода проб и ошибок, несмотря на то, что цемент и бетон являются такими же крупнейшими изобретениями человечества, как фотография, паровая машина, двигатель внутреннего сгорания, телефон, радио и т.д.

В данной работе делается попытка установить роль воды и В/Ц отношения в процессах схватывания и твердения цемента на стыке разных областей знаний - с точки зрения "электрической жизни" в гетерогенных дисперсных микросистемах цемент-вода - главным образом с точки зрения источников возникновения электронов, их перемещений и переходов, с привлечением методологии единства противоположностей.

Несмотря на диэлектрические свойства цементного раствора (бетонной смеси), имеется возможность использования электроэнергии высокочастотного электрического поля, постоянного и переменного тока для нагрева бетона за счет его собственного сопротивления, т.е. использования удельного электрического сопротивления бетона с выделением джоулева тепла [1, 2]. До настоящего времени считается, что нагревание бетона является следствием перемещения ионов в цементе (бетоне), в результате чего в массе свежего бетона электрическая энергия превращается в тепловую. С другой стороны, известно использование электрического тока для обеспечения твердения невяжущих дисперсных систем, например, закрепление пород в шахтах, закрепление пород вокруг Пизанской башни с целью избежания ее падения по программе ЮНЕСКО, закрепление грунтов и почв и т.д. В некоторой степени интерпретированы процессы и реакции при прохождении электрического тока через рыхлые дисперсные системы [3]. Выяснены яв-

ления перемещения ионов (ионопроводимость) под действием тока через капилляры и мембраны вследствие электрофореза, электроосмоса, электрофильтрации и электролиза. Но на практике использование электрического тока в бетонах (электрофорез, электроосмос, электрофильтрация и электролиз) оказывает незначительное влияние на процесс твердения бетона, а интенсификация этого процесса обусловлена лишь температурным фактором [4].

Сравнивая материалы исследования прохождения тока через дисперсные системы цементов, руд, почв [3, 4], отметим различия в результатах. В цементах при прохождении электрического тока ускоряется процесс твердения за счет выделения теплоты, в то же время в породах идет твердение (новоминералообразование) за счет электрохимического процесса (электрофорез, электроосмос, электрокинетические явления). Вот почему, в одном случае при прохождении электрического тока происходит нагрев дисперсной массы, а в другом — процесс протекает без явно выраженного ее нагрева.

Нами были поставлены пробные опыты, заключавшиеся в следующем. Дисперсную породу и почву измельчали в шаровой мельнице до параметров цемента ( $S = 300 \text{ м}^2/\text{кг}$ ), а цементный клинкер, в свою очередь, размалывали в шаровой мельнице до параметров дисперсной системы почвы. Далее полученные вещества подвергали электрофизической активации. Таким образом, еще раз убедились, что в случае тонкого помола происходит заметный нагрев (аналогично с цементом), а при грубом помоле клинкера нагрева не происходит и при прохождении тока протекают электрохимические процессы. Возникает вопрос: почему в одном случае при прохождении тока происходит нагрев дисперсной системы, а в другом случае нет? В связи с этим мы решили изучить и уточнить электропроводность цементного теста в период его твердения до схватывания (образования цементного камня).

Нами исследовались показатели электропроводности и характеристики раствора  $\text{Cd}(\text{OH})_2$ , суспензии цемента, цементного теста и цементного камня для сравнения в одинаковых условиях, используя методику аналогичную работе [5]. Результаты измерений представлены на рис. 1 и 2. Из этого исследования выяснилось отсутствие заметного импеданса в цементном тесте.

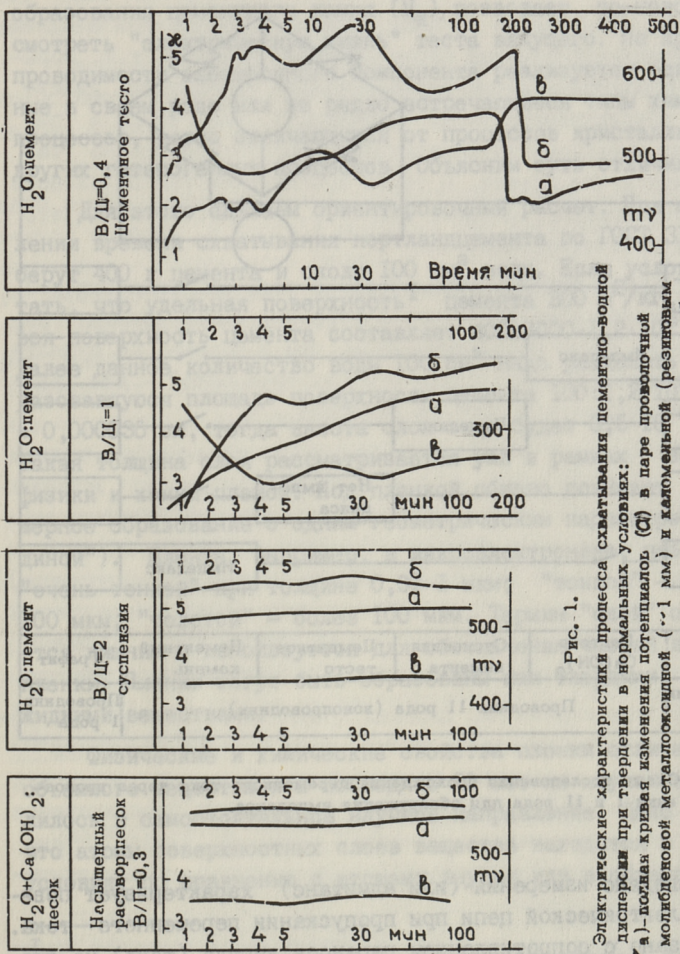
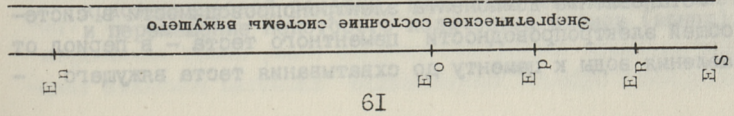
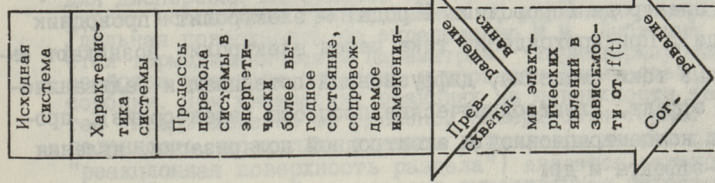


Рис. 1.

Электрические характеристики процесса схватывания цементно-водной дисперсии при твердении в нормальных условиях:

а) — полная кривая изменения потенциалов ( $\Phi$ ) в паре проволоочной молибденовой металлооксидной ( $\sim 1$  мм) и каломельной (резиновым наконечником со сквозным отверстием, плотно закупоренным асбестовой набивкой) электродов; б) — полная кривая изменения удельной электропроводности при частоте  $10$  кГц ( $\chi \cdot 10^{-3} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ ); в) — полная кривая изменения электропроводности ( $R \cdot \text{ом} \cdot \text{см}^{-1}$ ).

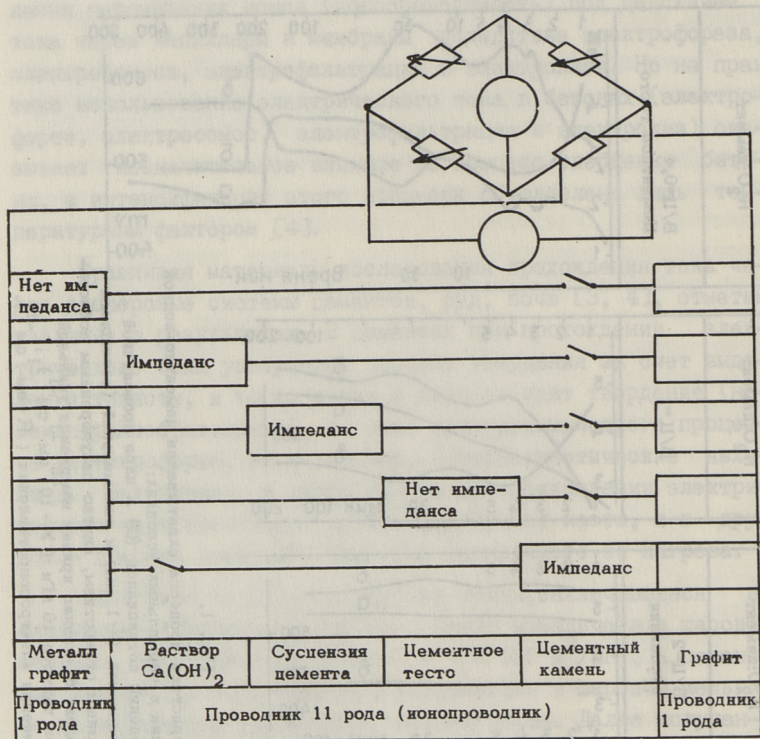


Рис. 2. Схема исследования прохождения переменного тока через проводники I и II рода для обнаружения импеданса.

Импеданс измерения (или адмитанс) характеризует поведение электрической цепи при пропускании переменного тока. Оно связано с сопротивлением переноса заряда (тока) на границе электрода (проводник I рода) – электролит (проводник II рода). При прохождении тока через электролит возникают емкостные токи смещения, диффузионный потенциал и гальванический эффект, электрохимические процессы (электролиз), процессы концентрационной и электродной поляризации, явления скин-эффекта и др.

Установление компонента электропроводимости в системе общей электропроводности цементного теста – в период от добавления воды к цементу до схватывания теста вяжущего –



образования цементного камня ( $C_k$ ), позволяет по-новому рассмотреть "электрическую жизнь" теста вяжущего. По причине проводимости электронного компонента реализуются единственные в своем роде или же редко встречающиеся типы химических процессов, резко отличающихся от процессов кристаллизации и других гетерогенных процессов. Объясним суть отличия.

Для этого сделаем ориентировочный расчет. При определении времени схватывания портландцемента по ГОСТ 310.3-76 берут 400 г цемента и около  $100 \text{ см}^3$  воды. Если условно считать, что удельная поверхность<sup>I</sup> цемента  $300 \text{ м}^2/\text{кг}$ , тогда вся поверхность цемента составляет  $400 \times 300 = 1,2 \cdot 10^6 \text{ см}^2$ . Далее данное количество воды  $100 \text{ см}^3$  надо разделить на образовавшуюся площадь поверхности цемента  $100 : 1,2 \cdot 10^6 = 0,000036 \text{ см}$ , тогда высота слоя воды будет  $3,6 \cdot 10^{-6} \text{ см}$ . Такая толщина слоя рассматривается уже в рамках законов физики и химии пленок. Под пленкой обычно понимают двухмерное образование с одним геометрическим параметром ("толщиной"). Пленка, например, в микроэлектронике, называется "очень тонкой" при толщине  $0,01-1 \text{ мкм}$ ; "тонкой" - от  $1$  до  $100 \text{ мкм}$ ; "толстой" - более  $100 \text{ мкм}$ . Термин "слой" оказывается лишним и используется для обозначения частей внутри пленки. Пленки могут быть образованы как твердыми, так и жидкими веществами.

Физические и химические свойства пленки отличаются от объемного вещества, и в последние 20 лет их изучение выделилось в самостоятельное научное направление. Дело в том, что атомы поверхностных слоев вещества находятся в особых условиях по сравнению с атомами внутри или в объеме этого

---

## I

Для дисперсных материалов при прогнозировании активности широко используют представление об удельной поверхности. Удельная поверхность по определению М.М. Дубинина является термодинамическим параметром, характеризующим свойства твердого вещества в процессе физической адсорбции. При химических реакциях на поверхности твердых тел представление об удельной поверхности теряет определенность, поскольку граница раздела (в данном случае "реакционная поверхность раздела") является "переходной зоной", в которой происходит существенная перестройка кристаллической решетки, изменение химического состава и перемещение некоторого количества атомов (ионов).

вещества. Эти особые условия связаны с нарушением в одном из направлений строгой периодичности вещества, т.е. обрывом трансляционной симметрии вещества. Электроны, движущиеся вблизи поверхности, "чувствуют" этот обрыв и поэтому их поведение на поверхности вещества совсем не такое, как в его объеме. С точки зрения электронных свойств приповерхностная область вещества, его "оболочка" — это особое состояние вещества.

Атомная же структура твердого тела или жидкости, т.е. расположение и свойства его внутренних слоев вблизи поверхности, тоже совершенно иное, чем в объеме. По существу, поверхность вещества и его "внутренность" — две разные формы одного и того же вещества.

Поверхность и пленка — двумерные системы не только по их структуре, но и по многим другим явлениям, которые выглядят на них совсем не так, как в объеме. Например, механические свойства пленки отличаются от механических свойств объемного материала. Так, в случае твердого тела, размеры кристаллов у них меньше и дислокации в них пронизывают всю толщину, блокируются на поверхностях. Таким образом, дислокации не участвуют в пластическом течении.

В диэлектрических пленках проявляется электронный эффект: в постоянном электрическом поле по мере утончения пленки резко возрастает проводимость. В тонких пленках наблюдается туннельный эффект: вероятность проникновения электрона, обладающего некоторой энергией, сквозь потенциальный барьер увеличивается экспоненциально с уменьшением толщины пленки.

В пленках, таким образом, проявляется заметное изменение проводимости их поверхности в зависимости от эффекта утончения, когда толщина их становится сравнимой или даже меньше, чем средняя длина свободного пробега электронов. В этом случае существенно сказывается рассеяние электронов на поверхностях пленки и эффективная проводимость снижается. Кроме того, в случае проводящих пленок (скин-эффект) более существенную роль играет паразитная емкость. На границе вода-клинкер(цемент), как и на границе контакта электролит-твердое тело, может возникнуть вентильный эффект: выпрямляющие свойства контакта твер-

дое тело-электролит объясняются пористой структурой оксидной пленки.

Свойства пленочной воды сильно отличаются от объемной воды. Именно поэтому тонкий слой на поверхности кварца по ошибке считали "второй водой" или "водой Дерягина".

Обсуждаемая структура водной пленки "зажата" между фазами поверхностей клинкера. Поверхность зерен клинкера (цемента) особая: в шаровой мельнице она превращена в особое состояние -- поверхность Бейлби.<sup>2</sup> На этой поверхности много дефектов структуры с пониженной симметрией решетки, а также напряжений и натяжений решетки, способствующих перераспределению электронов или электронного облака. Структура поверхности Бейлби (зоны подвижности, соизмеримые пленочные структуры), возбуждения поверхности (колебания атомов, обмен с водой), искажения подложки (упругие растяжения и сжатия), несовершенства поверхности (ориентационный беспорядок, неоднородность энергии связи, влияние ограниченности размера), нарушения дальнего порядка реального кристалла (структуры разрыхления по Шоттки, структуры смещения по Френкелю, структуры взаимозамещения по Л.Д. Ландау, структуры закалки аллостропического превращения, структуры деления по узлам решетки, структуры вычитания соединений переменного состава) и другие неоднородности могут являться донорами электронов.

<sup>2</sup> Слои Бейлби, толщина которых колеблется в широких пределах от  $10^{-3}$  мкм до нескольких микрометров, построены из большого числа беспорядочно расположенных и чрезвычайно мелких кристаллов размером всего в несколько элементарных ячеек. Аморфным является не твердое тело, с чем трудно было бы смириться с современной точкой зрения о строении твердых тел, а его высокодисперсная кристаллическая структура. С точки зрения физических свойств поверхности особый интерес вызывают два фактора: высокодисперсное строение слоев Бейлби и наличие слоев твердого тела, построенных из зерен с искаженными кристаллическими решетками.

Первое связано с чрезвычайно сильным развитием в слоях Бейлби фазовых поверхностей твердого тела и, следовательно, с интенсификацией всех физико-химических процессов, протекающих на таких поверхностях. Слои Бейлби характеризуются "объемной" плотностью свободной энергии фазовых поверхностей элементов структуры.

Второе явление также связано со значительным изменением запаса энергии поверхности твердого тела.

Какой бы сложной ни была электрическая цепь, в ней обязательно есть два "главных цеха". В одном из них свободные заряды получают энергию. Это генератор. На другом участке в другом главном цехе заряды отдают полученную энергию. Этот цех называют нагрузкой — он нагружает генератор, отбирает у него энергию, использует ее для выполнения полезной работы. Именно в нагрузке свободные заряды — электроны и ионы, которые генератор заставил двигаться, сталкиваются с местными атомами, ударяют по ним, реагируют, и в результате реакции в нагрузке выделяют тепло. Генератор и нагрузка — эти элементы входят в любую схему использования энергии, в любое устройство, и даже в химические превращения. Например, две наэлектризованные палочки — стеклянная (плюс), пластмассовая (минус) — и вот уже готов простейший генератор, который мог бы двигать свободные электрические заряды, заставляя их работать (зарядами мы для краткости называем свободные электроны и ионы, наши микроскопические наэлектризованные элементы). Стоит только соединить эти палочки проводником, как в нем сразу же появится электрический поток (принято говорить — ток, очевидно, для краткости) и начинается упорядоченное движение свободных зарядов с одной палочки на другую. Проводник в этой системе играет роль нагрузки: проходя по нему, заряды работают, вырабатывают какое-то количество тепла или других видов энергии. А это значит, что цель достигнута, завод, где работают движущиеся заряды, есть клинкер (цемент) — вода-клинкер (цемент), потому что тонкая пленка воды "пропускает" электроны. Классическим примером является реакция образования  $\text{FeS}$  в тонкотертых смешанных порошках железа и серы при ничтожной добавке воды. Пленка воды между частицами железа и серы пропускает электроны, вследствие чего образуется соединение  $\text{FeS}$ . Аналогичная "пропускаемость" электронов происходит в пленке воды в цементном тесте.

Донорами электронов при "электрической жизни" в цементном тесте также могут быть сложные окислы  $\text{MeFe}_2\text{O}_4$ , электронно-дырочные центры, потери заряда от коллоидной частицы (заряд на границе существует сам по себе) и т.д. Акцепторами электронов могут быть различные центры (M, P, V), ловушки и различные неоднородности поверхности Бейлби зерен цемента.

О таких предполагаемых электронных переходах свидетельствуют пики термолюминесценции и экзозлектронная эмиссия после схватывания цементного камня, т.е. освобождение электрона обратно из ловушки.

С появлением поверхности на границе фаз появляются различные потенциалы. Существующие потенциалы на границе фаз составлены и систематизированы Я.М. Нюссиком [6]. Потенциальность имеет или создает электростатическое поле.

Базируясь на появлении различных потенциалов и на состоянии электронов и электронных облаков, создано представление об "электрическом рельефе" [7]. Последний непосредственно связан с реакционной способностью. По словам Максвелла, создаваемое "электрическое поле представляет собой пространство, окружающее электрически заряженное тело". Поскольку электрические свойства тела свидетельствуют о его состоянии (приблизительно в смысле обозначения Фарадея "электротонус" для состояния индукции), электрическое поле можно привлечь для представления процесса в дисперсной системе. В принципе существуют два активных электрических состояния (+ и -) и потенциальное электрическое состояние (0). При этом плюс и плюс (и соответственно минус и минус), как и в ряду чисел, суммируются (отталкиваются). Напротив, + и -, как и в арифметике, взаимно уничтожаются (притягиваются). Однако в противоположность арифметике, две единицы плюс и две единицы минус дают не нуль, а два нуля (а трижды плюс и трижды минус дают три нуля и т.д.). Кроме того, как принято в физике, знак + относят к пустому месту (например, дефекту электрона или позитрону), а знак "-" к тому, что есть "внутри", т.е. к электрону (элементарный квант электричества); "+" вызывает втягивающее действие (силовые линии), которому соответствует давление со стороны "-" ( $\rightarrow$  тск).

Согласно закону Ома, ток ( $e^+$  - ток =  $e^-$  · ток)<sup>3</sup>,  
напряжение ( $e^+$  - напряжение =  $e^-$  - напряжение)<sup>4</sup> и со-

$$\begin{aligned} 3 \quad e &= (4,80286 + \text{---} 0,00009) \cdot 10^{-10} \text{ cgs} = \\ &= (1,60206 + \text{---} 0,00003) \cdot 10^{-19} \text{ а-сек (cgs/a-сек)} \\ &= 2,99793 \cdot 10^{+9} \text{ ).} \end{aligned}$$

4 По отношению к гипотетической нулевой точке.

противление ( $e^0$  или "экситон") определенным образом связаны между собой. Для каждой из этих величин можно принять значения нуль, единица или бесконечность (эти значения для данной системы абсолютны, но, исходя из высшей логики чисел, они относительны).

Из вышеизложенного выяснилось, что исходя, с одной стороны, из особенностей перемещения электронов сквозь пленки воды и, с другой стороны, из возможных источников электронов на поверхности Бейлби, возможно перемещение зарядов. При перемещении зарядов ( $e^-$  или  $e^+$ ) в "электрическом рельефе" поверхностей зерен цемента идут процессы. Все процессы, протекающие в периоде, в том числе связанные с переносом заряда, осуществляются в соответствии с принципом наименьшего действия Мюпертью. Из последнего вытекает общее условие химического превращения: всякий химический процесс определяется относительным положением энергетических уровней реагирующих систем, и перенос заряда осуществляется с электрически менее выгодной на более выгодную орбиталь. В ходе процесса в конечном итоге совершается работа.

Процесс разрядки по второму закону термодинамики идет всегда от большего потенциала к меньшему, так что потенциалы вновь выравниваются. Однако, выравниваясь, разность потенциалов совершает работу, что и составляет процесс преобразования, заключающийся в переходе данного вида энергии в другой. Значит, любой процесс имеет две стороны или точнее, уровня: изменение разности потенциалов одного вида энергии и переход этого вида энергии в другой.

Таким образом, туннелирование электронов в жидкой пленке воды между цементными частицами создает особую ситуацию "электрической жизни" в цементном тесте: все существующие поверхностные потенциалы электрической природы выравниваются, источники потенциалов электрической природы нейтрализуются; в пленке воды между поверхностями частиц цемента возникает ситуация "покой потенциалов электрической жизни"; сферы влияния или зоны взаимодействия в активной части пленки воды резко отличаются от кристаллизации из гомогенной системы раствора [6]; из сферы влияния даже электрический двойной слой становится бессмысленным, так как в цементном тесте пленки воды зажаты с одной и с другой стороны поверх-

ностями частиц цемента и по причине проводимости электронов электрический двойной слой не образуется [8] (поэтому при прохождении тока в цементном тесте отсутствуют электрокинетические явления).

На основании наших исследований и вышеизложенной интерпретации исследовательских данных можем начинать строить платформу для выдвижения новой гипотезы о механизме процессов схватывания и твердения цементов. Гипотеза звучит: химические реакции и микрокристаллизация в водной части цементной пасты происходят без сферы влияния и зоны взаимодействия.

1. До настоящего времени более 100 лет в цементной химии реакции твердения цемента в водной части отождествляют с реакциями и кристаллизациями из растворов. При массовой кристаллизации из гомогенных насыщенных растворов существуют принципы: а) с появлением поверхности (зародыш кристалла, частицы) в гомогенной системе кристаллизации образуются зоны взаимодействия-среды влияния [6]; б) чем больше воды, тем лучше продукт кристаллизации [6].

Парадоксальность появляется именно в количестве воды, добавляемой к цементу: добавление малого количества воды к цементу является одним из определяющих критериев получения оптимально-прочного цемента. Добавление повышенного количества воды, при возможной повышенной доле растворимости цемента, должно увеличивать растворимость вяжущего и, в связи с этим, увеличивать образование  $Si$ -силикатов, как главного компонента формирования бетона с оптимальными показателями. Уменьшение В/Ц для повышения марочной прочности образующегося камня, приводит к мысли об особой роли воды — не воды, как растворителя вяжущего, а как водной "поверхности" между микрочастицами клинкера, и о работе клинкера и поверхности воды.

2. Из-за отсутствия сферы влияния можно объяснить, почему:

А) в цементной химии плохо работает диффузионный закон, хотя некоторые исследователи [9]:

а) объясняют, что смесь цемента с водой (бетон) первоначально обладает достаточно малой вязкостью и в нем идут

интенсивные диффузионные процессы, но в дальнейшем, в результате образования связей и кристаллических зародышей происходит твердение цемента и диффузионные процессы тормозятся;

б) считают, что для того, чтобы облегчить естественные диффузионные процессы, определяющие структурообразование и ликвидацию термодинамической неустойчивости, имеются возможности, чтобы не замораживать энергию в виде нереализованных связей, а обеспечить максимальное количество атомов (ионов), вступающих во взаимодействие. Отсутствие диффузии в цементном тесте говорит о том, что определенное долгое время не происходит рост и укрупнение микрокристаллов и появление колец Лизеганга. В то же время в дисперсионных породах образуются большие монокристаллы, например, турмалины, пириты и т.д.

В) часто для "толкающей силы твердения" применяют тепловую энергию [10]. В таком случае доказывают и утверждают, что для ускорения процесса твердения необходимо или увеличить кинетическую энергию атомов, или же уменьшить величину потенциального барьера, но для этого, очевидно, необходимо ввести какую-то энергию, которая необратимо расходовалась бы на увеличение подвижности атомов. С позиции нашей гипотезы, с повышением температуры увеличивается "перемещение", "перескок" единиц материального баланса реакции в глубину пленки воды и кинетика реакции и микрокристаллизации увеличивается.

3. В процессе схватывания и твердения в цементном тесте с точки зрения гидратационного механизма, важнейшими элементами которого являются адсорбция, воздействие воды, растворение, гидролиз, гидратация, образование гидратов, осаждение на границе раздела зерен  $C_3S$  слоев гидратных  $CSH$ -фаз, процессы коллоидной химии, образование гелей, выделение воды, изменение пористости, перекристаллизация, топохимические реакции, происходят фазовые изменения, превращения и образование новых фаз. Парадоксальным является отсутствие заметных электромагнитных явлений при твердении цементного теста в катушке слежения индукционных сигналов В.Н. Сальникова [3]. Обычно его методом можно обнаружить даже ничтожные фазовые изменения или возникновения.



Из наших исследований следует, что загадка происхождения этих процессов находится не только в микрочастьях дисперсной системы цемент-вода, но и охватывает все цементное тесто. Отсюда вытекает вопрос, каков механизм схватывания цементного теста? Выяснить механизм реакции - значит раскрыть совокупность элементарных стадий, составляющих реакцию, а также закон, связывающий эти стадии между собой.

Следует учесть, что в месте соприкосновения клинкера и воды имеются расчленения: вода-приповерхностный слой, вода-поверхность, вода-граница, вода-граница клинкера (цемента)-приповерхностный слой клинкера-внутренний слой клинкера. Тогда между двумя частицами клинкера и воды уже имеют место следующие расчленения: внутренний слой клинкера А - поверхность клинкера, А - граница воды и граница клинкера, А - поверхность воды - приповерхностный слой воды - вода между двух поверхностей клинкера, АВ - приповерхностный слой воды - граница воды и граница клинкера, В - поверхностный слой клинкера, В - приповерхностный слой клинкера, В - внутренний слой клинкера В.

Геометрической характеристикой такого расчленения от границы поверхности зерна цемента до другой поверхности зерна на границе в среднем является 10 мкм. Рассматриваемое расстояние в двумерном пространстве можно считать РЕАКЦИОННЫМ ПРОСТРАНСТВОМ. Геометрическая размерность рассматриваемого пространства, где происходит образование портландита, этtringита и CSH меньше геометрической размерности пространства "двориков кристаллизации" из насыщенных растворов [6]. Поэтому мы называем процессы твердения цементного теста в ограниченной пленке воды ОГРАНИЧЕННЫМ РЕАКЦИОННЫМ ПРОСТРАНСТВОМ.

При твердении цементного теста происходит изменение энергетического состояния и вещественное преобразование, т.е. система цемент-вода переходит из метастабильного состояния в более стабильное состояние. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ показателем величины или мерой взаимодействия между цементом и водой является свободная энергия Гельмгольца [10]. МАТЕРИАЛЬНЫМ ресурсом преобразования системы цемент-вода являются катионы-анионы  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $[\text{AlO}_6]$ ,  $[\text{AlO}_4]$ ,  $[\text{SiO}_4]$  [11] на поверхности зерен клинкера и ионы  $\text{H}^+$ ,  $\text{H}_3\text{O}^+$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  в пленке воды. В процес-

се преобразования происходит система целеустремленных событий между ионами, которые в процессе твердения цемента шаг за шагом следуют физическим законам. Конечными стабильными веществами преобразования являются портландит, этрингит и гидраты алумосиликатов (минералы CSH). Образовавшийся минерал или полученный продукт является решением состояния системы с минимализацией энергии, т.е. конкретный рассматриваемый минерал как продукт превращения представляет собой равновесное состояние системы в рамках термодинамики.

При образовании минерала или его превращении мы знаем о начальных и конечных продуктах, а не о самом процессе. На языке кибернетики процессы превращения или образования минерала представляют собой "черный ящик", где известны "вход-выход", "причина-следствие", а не групповые-пространственные и динамические-операционные зависимости. Кроме того, изучая превращения минерала, мы как бы закрываем глаза на то время, когда частицы-ионы взаимодействуют между собой, и раскрываем их вновь лишь тогда, когда превращение или преобразование уже совершилось. Для превращения или перехода фаз из одного состояния в другое системе требуется некоторое время и, вообще говоря, в ее развитии наступает некоторый переходный режим, когда система перерабатывает полученную извне информацию. В отношении макро- и микромира справедлива теория рекуррентности Пуанкаре, которая утверждает, что состояние системы, находящейся в какой-то точке фазового пространства, по истечении некоторого времени возвращается в исходное состояние. С точки зрения классической механики это означает, что в физических процессах превращения минералов причина и следствие разделены некоторыми интервалами времени, которые не могут быть отрицательными величинами, т.е. "следствие" не может быть событием прошлого. Это обстоятельство не накладывает никаких ограничений на скорость физических взаимодействий, и они могут осуществляться с произвольно большой скоростью. Отсюда следует, что события, составляющие процесс превращения микрочастиц цемента, можно строго разделить по их порядку протекания во времени. Физические взаимодействия этих микрочастиц происходят с определенной скоростью. События, энергетически выражающиеся через эф-

фекты и явления и развивающиеся во времени, в процессе своего усложнения изменяются в "точках образования зародыша".

Объясним, как идет образование зародыша в цементе во время твердения. Есть хорошая французская поговорка: "Для того, чтобы делать рагу из зайца, нужно, как минимум, иметь зайца". По аналогии можно сказать: "Для того, чтобы образовались первые зародыши кристаллизации, должны, как минимум, быть соответствующие ионы в растворе".

Мы должны иметь в свободном состоянии эти микрокирпичи (ионы, анионы, электроны и т.д.), и они должны перемещаться, двигаться, колебаться. Причем их должно быть так много, чтобы могли образовываться начальные зародыши - "кванты кристаллизации". Такое квазистатическое движение в пленках жидкости доказано в [14]. Это значит, что для образования зародыш должен иметь минимальное количество ионов-порог, равный  $\hbar$ , который должен быть преодолен. Чем больше частота  $\nu$  естественных колебаний системы зародышей под действием внутренних сил, тем больше квант энергии  $E$ , поглощаемый или излучаемый системой. Произведение количества энергии на время обмена кратно числу квантов и является не элементом энергии, а элементом действия. Все ионно-молекулярные процессы сопровождаются обменом энергии, поэтому по Зоммерфельду развитие ионно-молекулярных процессов совершается в определенном порядке. Его закон гласит: во всяком элементарном ионно-молекулярном явлении действие, поглощенное или потерянное ионно-молекулярной группой, имеет определенную универсальную величину  $\hbar$ . Закон квантования величины  $E$ , учтенный постоянной Планка  $\hbar$ , переносится на квантование зародышей в водных пленках цемента.

На кривой электропроводимости цементного теста до образования цементного камня в развертке времени наблюдаются три "пика" резкого изменения проводимости. Их причиной является квантованный выход последовательно портландита, эттрингита и CSH. Пленка воды между поверхностями клинкера (цемента) находится в равных условиях, и "конвейерный механизм" переноса ионов с обеих сторон происходит в глубину (в середину) пленки воды. Разумеется, что стохастическое образование при ионно-молекулярной селекции - "кванта

зародыша" требует времени, которое назовем инкубационным временем. Гидратационная теория, наоборот, инкубационное время "ищет" на поверхности зерен цемента. Гидратационная теория принимает, что вокруг зерен образуется кристаллизационный слой. Мы отрицаем такой факт и показываем образование первичных слоев кристаллизации между зернами цемента на глубине в середине пленки воды. После "квантованной кристаллизации" в середине пленки воды частицы цемента останутся за "частоколом" квантовых кристалликов. Вследствие протекания процесса квантовой кристаллизации, снижается размерность толщины водной пленки. Начинается процесс образования структуры водной пленки. В этой особой водной структуре присходят колебательные процессы (опять квантованные при определенной длине ( $\lambda$ ) волн. Аналогичные колебательные процессы структурных единиц  $[SiO_4]$  ( $[AlO_4]$ ) происходят в клинкере (цементе) и квантованных кристалликах. В результате колебания этих структурных единиц совершается их обмен между собой, в процессе которого образуются  $Ca$ -силикаты, образующие и формирующие прочностные марочные показатели цементного камня. Такой процесс, как "разрыв непрерывности", является процессом усложнения физико-химической аксиоматики в рамках влияния потенциалов Магделунга. О правильности нашей гипотезы свидетельствует именно стехиометрия продуктов гидратации  $C_3S$  [12].

Между периодами квант-кристаллизации и Магделунгского взаимодействия находится еще период превращения веществ твердения цемента без квазистатических процессов в жидких пленках воды [13], в результате чего образуются аморфные вещества, которые в цементной химии ошибочно называются гелеобразованиями.

На основании наших исследований, интерпретации исследовательских данных и абстрагирования процессов схватывания в связи с энергией, материей, временем и пространством можно выдвинуть гипотезу о возможных правилах хода процессов схватывания-твердения цемента до образования цементного камня. Гипотеза звучит так:

В водной части цементной пасты происходит квазистатическая квантовая кристаллизация портландита, этtringита и  $CSH$ , неквазистатические образования аналогов аморфных ве-

ществ и колебательные события между структурными единицами с образованием  $\text{C}_2\text{H}_2$ -силикатов.

Кроме этих главных этапов хода процессов существуют еще процессы, которые выявляются или обнаруживаются именно в зольных цементах. Их рассмотрим в следующей работе.

### Л и т е р а т у р а

1. Электрофизические методы активации тампонажных растворов. - М.: Недра, 1982.

2. Л а ш и в е р Ф.М. Электротермия в технологии железобетона. - Ташкент: Узбекистан. - 1981. - 244 с.

3. Н ю с с и к Я.М., К о м о в И.Л. Электрохимия в геологии. - Л.: Наука, 1981. - 240 с.

4. Л и А.И. Обработка бетона электрическим током и ее применение при бетонировании монолитных конструкций // Повышение качества строительства зданий и сооружений в зимних условиях: Материалы семинара. - М., 1987. - С. 40-45.

5. Н ю с с и к Я.М. Новые способы синтеза минералов и выращивания монокристаллов. Серия препринтов сообщений "Новые научные методики". Коми филиал АН СССР, 1983.

6. Н ю с с и к Я.М. Принципы слежения за ростом кристаллов. - Л.: Наука, 1979.

7. К и н н и с А.Я., М и х а й л о в а Н.Ф., Ш в а р ц м а н Р.А. О возможности выявления "электрического рельефа" поверхности твердых тел воздействием электрических полей на скорость гетерогенных реакций // Журнал прикл. химии. - 1974, XI III. - № I. - С. 102-105.

8. Н а г д м а н Т.М. Fibre-water interaction in paper-making symposium // Oxford, Proceedings. - P. 119-134.

9. Г л у х о в с к и й К.А., К р ы л о в Н.А., П о л и щ у к А.М. Управление процессом твердения бетона // Тр. международной конференции по проблемам ускорения твердения бетона при изготовлении сборных железобетонных конструкций РИЛЕМ. М. ИЛ по строительству. - М., 1968. - С. 50-56.

10. Штакельберг Д.И., Сычев М.М. Движущие силы химических и структурных превращений при твердении минеральных вяжущих веществ // Технол. мех. бетона (Рига). - 1986. - № II. - С. 5-14.

11. Нюссик Я.М. Новые способы получения искусственных аналогов минералов. Серия препринтов сообщений "Новые научные методики". Коми филиал АН СССР, 1982.

12. Шпынова Л.Г., Саницкий М.А., Новосад П.В. О стехиометрии продуктов гидратации // Изв. вузов. Химия и химич. технол. 1982, 25. - № 5. - С. 604-606.

13. Кротов В.В., Русанов А.И. Квазистатические процессы в жидких пленках // Вопросы термодинамики гетерогенных систем и теории поверхностных явлений.-Вып. 2. Изд-во Ленингр. ун-та, 1973. - С. 147-178.

Y. Nyssik

Hypothesis on the Mechanism of the  
Hardening of Portland Cements

Abstract

Electric conductivity of cement pastes has been experimentally examined. A conclusion has been drawn that all potentials on the edge of cement-water phase are diminishing. The investigations of the spectrum of the electric conductivity of cement paste during the period of setting allow us to find out the processes of the hardening of cement.

J. Nüssik

## Portlandtsemendi tardumismehhanismi hüpoteesidest

### Kokkuvõte

Artikli autor on eksperimentaalselt uurinud tsementtaina elektrijuhtivust alates vee lisamise momendist kuni tardumise lõpuni. Tsementtaina elektrijuhtivuses on leitud elektronjuhtivuse komponent. Elektronjuhtivuse kindlakstegemine lubab uut moodi läheneda tsemendi tardumise protsessidele ja füüsikalise-keemiliselt interpreteerida portlandtsemendi tardumisel toimuvaid nähtusi.

О ПОТРЕБИТЕЛЬСКОМ КАЧЕСТВЕ СТЕНОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ  
ИЗ ГАЗОЗОЛОБЕТОНА

В 1990–1995 годах в СССР планируется значительный рост производства стеновых блоков из ячеистых бетонов – увеличение объема до 3 раз. В развитых капиталистических странах, однако, наблюдается ограничение их производства, а также и области применения. Так, например, начиная с 70-х годов в Швеции изделия из ячеистых бетонов в жилищном строительстве практически не применяются [1], хотя там производят газобетон типа "Сипорекс", строительно-технические показатели которого наивысшие. Повидимому, надо еще раз уточнить конкурентоспособность конструкций из ячеистых бетонов и подтвердить целесообразность резкого повышения объема их производства в СССР.

Тут может помочь следующий анализ, базирующийся на результатах определения уровня потребительского качества наружных стен из газозолобетона, оцениваемого в СССР одним из наилучших видов ячеистого бетона.

## I. О методике оценки потребительского качества

Одним из важнейших этапов проектирования процесса развития является этап высеивания из множества альтернативных идей таких, которые обеспечивают инновацию. По имеющимся данным, в США в результате высеивания теряется 7/8 времени, затраченного на техническую разработку нового вида продукции [2]. Для оценки продукции на этом этапе разработан ряд методов, называемых иногда методами конвергенции [3]. При оценке строительной продукции за основу принимаются показатели функциональности, пригодности и стоимости, учитываются и сроки, и объемы выпускаемой продукции [4]. В СССР для



оценки альтернативных решений рекомендуются методики по определению экономической эффективности [5], однако, здесь могут быть успешно применены и методы, базирующиеся на основах квалиметрии [6, 7].

В данном случае для выбора из альтернативных вариантов наиболее удачного решения рекомендуется комплексный показатель – уровень потребительского качества (УПК). При определении УПК за основу рекомендуется принимать следующие соображения:

1. УПК определяется отношением  $P/C$ , где  $P$  – показатель работоспособности,  $C$  – цена продукции.

2. Работоспособность определяется степенью соответствия показателей функциональности и пригодности базовым.

3. Базовыми показателями при определении работоспособности являются целевые показатели, при установлении которых учитываются потребности потребителя, приведенные затраты и экологические факторы.

4. Производственно-технические факторы (технологичность, затраты труда и т.д.) учитываются при установлении цены продукции.

5. Вес свойства определяется как важность достижения целевого показателя.

6. Отклонение проектных показателей от целевых в любую сторону считается отрицательным явлением.

Такой подход при определении веса свойства позволяет принимать за основу поставленные цели, учитывать специфику применения местных условий, следовательно, определять, насколько данный вид продукции соответствует своему назначению. По применяемым в настоящее время отраслевым методикам оценки качества строительной продукции [8] выполнение этого требования ГОСТ 15467-79 невозможно.

## 2. Определение УПК

Определение уровня потребительского качества проводилось в следующей последовательности:

– определялись основные свойства, характеризующие работоспособность конструкций;

- определялись значения базовых показателей работоспособности конструкций  $P_{iB}$ ;
- определялись значения проектных показателей работоспособности конструкций  $P_i$ ;
- определялся вес свойств  $m_i$ ;
- определялись величины комплексных показателей работоспособности конструкций:

$$\text{если } P_i < P_{iB}, P = \sum \frac{P_i}{P_{iB}} \cdot m_i ;$$

$$\text{если } P_i > P_{iB}, P = \sum \frac{P_{iB}}{P_i} \cdot m_i ;$$

- определялась цена конструкций (стоимость по государственным ценам)  $U$ ;

- определялся УПК:  $УПК = \frac{P}{U}$ .

## 2.1. Базовые показатели

Основные свойства и соответствующие им базовые показатели, характеризующие работоспособность конструкций в условиях малоэтажных жилых и животноводческих зданий ЭССР приведены в таблице I.

Т а б л и ц а I

Базовые показатели

Свойство	Базовый показатель		
	характеристика	величина	
		жилое здание	животноводческое здание
I	2	3	4
Теплоизоляция	Сопротивление теплопередаче	3	3
Звукоизоляция	Индекс изоляции от воздушного шума	50	30
Непроницаемость	Водонепроницаемость (в баллах (0-5))	4	4
Долговечность	Средний срок эксплуатации с 50-процентной вероятностью	100	50

I	2	3	4
Прочность	Высота несущих стен в этажах	2	I
Внешний вид	Долговечность отделки в годах	50	25

## 2.2. Вес свойства

Оценка веса основных свойств, характеризующих работоспособность конструкций наружных стен малоэтажных зданий в условиях ЭССР, проводилась методом экспертной оценки. Экспертами являлись преподаватели строительного факультета ТПИ (17), научные сотрудники ЦНИИЭПЖилища (13) и представители заказчиков - председатели колхозов и директора совхозов ЭССР (20). Результаты оценки приведены в таблицах 2-5.

Т а б л и ц а 2  
Результаты оценки веса свойств, проведенной в ТПИ

Вид здания	Жилое		Животноводческое	
	средний $m_i$	коэффициент вариации $w_i$	средний $m_i$	коэффициент вариации $w_i$
Теплоизоляция	23,9	0,09	23,2	0,10
Звукоизоляция	17,8	0,10	5,3	0,31
Непроницаемость	15,4	0,11	19,2	0,13
Прочность	10,3	0,24	18,4	0,15
Долговечность	17,3	0,11	24,7	0,09
Внешний вид	15,3	0,09	9,2	0,16

Т а б л и ц а 3  
Результаты оценки веса свойств заказчиками

Вид здания	Жилое		Животноводческое	
	средний $m_i$	коэффициент вариации $w_i$	средний $m_i$	коэффициент вариации $w_i$
I	2	3	4	5
Теплоизоляция	23,9	0,09	23,2	0,10

1	2	3	4	5
Звукоизоляция	17,8	0,10	5,3	0,31
Непроницаемость	15,4	0,11	19,2	0,13
Прочность	10,3	0,24	19,4	0,15
Долговечность	17,3	0,11	24,7	0,09
Внешний вид	15,3	0,09	9,2	0,16

Т а б л и ц а 3

Результаты оценки веса свойств заказчиками

Вид здания	Жилое		Животноводческое	
	средний $m_i$	коэффициент вариации $w_i$	средний $m_i$	коэффициент вариации $w_i$
Теплоизоляция	29,5	0,08	25,5	0,11
Звукоизоляция	13,5	0,09	4,5	0,29
Непроницаемость	14,7	0,07	19,3	0,06
Прочность	11,1	0,12	20,0	0,08
Долговечность	14,9	0,07	19,7	0,05
Внешний вид	16,3	0,09	11,0	0,12

Т а б л и ц а 4

Результаты оценки веса свойств в ЦНИИЭПЖилища

Вид здания	Жилое		Животноводческое	
	средний $m_i$	коэффициент вариации $w_i$	средний $m_i$	коэффициент вариации $w_i$
Теплоизоляция	32,7	0,18	25	0,15
Звукоизоляция	15,8	0,17	6,5	0,25
Непроницаемость	9,8	0,21	14,7	0,15
Прочность	17,3	0,17	22,5	0,15
Долговечность	13,2	0,18	22,5	0,15
Внешний вид	11,2	0,14	8,8	0,01

Т а б л и ц а 5

Усредненный вес основных свойств

Свойство	Жилое здание	Животноводческое здание
Теплоизоляция	28	25
Звукоизоляция	16	5
Непроницаемость	14	18
Прочность	12	20
Долговечность	15	22
Внешний вид	15	10

Вышесказанное подтверждает, что при оценке качества конструкции необходимо уточнить цели и условия применения. Представляет интерес относительно большой вес звукоизоляции, хотя в настоящее время звукоизоляция наружных стен не нормируется. Приведенные данные свидетельствуют о совпадении взглядов специалистов-строителей и заказчиков. Согласованность мнений экспертов, как правило, была выше средней ( $w < 0,25$ ), во многих случаях высокая ( $w < 0,1$ ), согласованность была ниже средней лишь при определении значимости звукоизоляции наружных стен животноводческих зданий.

### 2.3. Результаты оценки УПК

Ссылаясь на вышесказанное и на результаты обобщения проектных показателей [9, 10, 11 и др.] можно определить УПК следующих видов наружных стен:

1. Пустотный силикатный кирпич - 120 мм, затиркой швов + мин. вага - 140 мм + I слой рубероида + сплошной силикатный кирпич - 120 мм + штукатурка 15 мм. Вертикальные диафрагмы кирпичные, через 1170 мм.

2. То же, в качестве утеплителя (взамен мин.ваты - 150 мм) 270 мм древесных спилок (термолита).

3. Пустотный силикатный кирпич - 120 мм, затиркой швов + термолит - 150 мм, деревянный дощатый каркас + I слой рубероида + доски - 22 мм + сухая штукатурка - 8 мм.

4. Газозолобетон плотностью 700 кг/м<sup>3</sup> - 300 мм + штукатурка 15 мм.

5. Газозолобетон плотностью 700 кг/м<sup>3</sup> - 200 мм + штукатурка - 15 мм + термолит - 100 мм, досчатый каркас + I слой рубероида + доски - 22 мм + сухая штукатурка - 8 мм.

6. Асбоцементная плита - 8 мм + воздушный зазор - 22 мм + ДВП - 4,5 мм + мин.вата - 150 мм, досчатый каркас + доски - 22 мм + сухая штукатурка - 8 мм.

Результаты расчета УПК стеновых конструкций, нумерация которых соответствует вышеприведенному, приведены в таблицах 6 и 7.

Т а б л и ц а 6

УПК наружных стен жилых зданий

Свойство	Вес свой- ства	Показатели работоспособности						
		базо- вые	проектные для типов					
			I	2	3	4	5	6
Теплоизо- ляция	28	3	1,6	1,9	1,8	1,3	2,4	2,5
Звукоизо- ляция	16	50	53	54	45	45	44	30
Непрони- цаемость	14	4	4	4	4	4	4	2
Прочность	12	2	2	2	2	3	2	1
Долговеч- ность	15	100	50	50	50	100	100	30
Внешний вид	15	50	50	50	50	15	15	15

Работоспособность: 78,5 81,0 79,7 68,0 82,0 54,9

Цена: 26,96 22,94 11,33 16,79 23,03 20,04

УПК: 2,9 3,5 7,0 4,0 3,6 2,7

Т а б л и ц а 7

УПК наружных стен животноводческих зданий

Свойство	Вес свой- ства	Показатели работоспособности			
		базовые	проектные		
			I	2	4
I	2	3	4	5	6
Теплоизо- ляция	25	3	1,6	1,9	1,3
Звукоизо- ляция	5	30	53	54	45

Продолжение табл. 7

I	2	3	4	5	6
Непроницаемость	18	4	4	4	4
Прочность	20	1	2	2	3
Долговечность	22	50	25	25	35
Внешний вид	10	25	25	25	10
Работоспособность			65,1	67,6	58,2
Цена:			26,96	22,94	16,79
УПК:			2,4	4,0	3,5

Видно, что потребительское качество наиболее применяемых видов наружных стен малоэтажных жилых зданий ЭССР колеблется более чем 2 раза. Работоспособность стеновых конструкций из газозлобетона (4) относительно низкая, но это компенсируется малой стоимостью конструкций, благодаря чему уровень их потребительского качества повышается, но все же уступает комбинированным конструкциям из дерева и кирпича (3). Дополнительное утепление газозлобетонных стен (5) повышает значительно работоспособность стен, но слишком высокая стоимость утепления вызывает снижение потребительского качества по сравнению с предыдущим вариантом.

Меньше отличается потребительское качество рассматриваемых конструкций животноводческих зданий. Однако и здесь из газозлобетона они уступают облегченным кирпичным стенам.

Представленные данные подтверждают дискуссионность увеличения производства и применения газобетонных стен и в условиях СССР. Необходимо аналогичные анализы провести и для других районов СССР. По-видимому, целесообразно подождать предстоящую реформу цен, которая может многое изменить.

### 3. Выводы

1. При выборе альтернативных решений строительной продукции целесообразно руководствоваться данными по комплексной оценке качества.

2. Для определения комплексного показателя - уровня потребительского качества - требуются методические уточнения, которые приняты за основу при оценке уровня потребительского качества изучаемых конструкций.

3. Предстоящее резкое повышение объема производства и применения изделий из ячеистых бетонов является дискуссионным.

4. Из оценённых альтернативных конструкций наружных стен малоэтажных жилых зданий в условиях ЭССР наивысшее потребительское качество имеют комбинированные конструкции из дерева и кирпича, в животноводческих зданиях - облегченные кирпичные стены.

#### Л и т е р а т у р а

1. B j e r k i n g S.E. Ytterväggar och Fönster // Byggeforskningsradet. Stockholm, 1987.

2. Betonielementtirakenteet // RIL 115. - Helsinki.- 1977.

3. Д ж о н с Дж. К. Методы проектирования. - М., 1986.

4. Projekt styrning. Byggeforskningsradet. Stockholm, 1983.

5. Руководство по выбору проектных решений в строительстве. НИИЭС и ЦНИИПроект. - М., 1982.

6. А в и р о м А.С. Управление качеством крупнопанельного домостроения. - М., 1983.

7. ГОСТ 15467-79. Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения.

8. Методика оценки уровня качества силикатного кирпича, камней, силикатных пустотелых и изделий из ячеистого бетона. НИПИ силикатобетон. - Таллин, 1979.

9. J õ g i o j a E., L i n d m a a H., N u i k R., V a n a U., O i d e r m a a J. Seinte sooja tehnilised ja majanduslikud näitajad. Tallinn: Ehituse TUI, 1986.

10. К е с к ю л а . Работоспособность сельскохозяйственных производственных зданий: Дис. на соискание уч. степени докт. техн. наук. - М., 1988.

11. М и к л и Л.И. Изучение технической эффективности и качества строительных изделий / НТО ТПИ. - Таллин, 1985.



L. Mikli

Qualität der Wandkonstruktionen aus Aschengasbeton  
vom Standpunkt der Verbraucher

Zusammenfassung

In diesem Artikel werden die methodischen Aspekte, notwendig bei komplexer Bestimmung der Qualität der Bauproduktion vom Standpunkt der Verbraucher und die Resultate der Bestimmung des Qualitätsniveaus der Außenwandkonstruktionen formuliert.

Diese Resultate zeigen, daß das Qualitätsniveau von Außenwandkonstruktionen aus Aschengasbeton (in der Estnischen SSR ausgearbeitet) mittelmäßig ist und die planmäßige Erweiterung der Produktion dieser Konstruktionen strittig ist.

L. Mikli

Põlevkivituhk-gaasbetoonist seinakonstruktsioonide  
kvaliteet, lähtudes tarbija seisukohast

Kokkuvõte

Artiklis täpsustatakse meetodilisi aluseid enitustoodangu kvaliteedi hindamiseks tarbija seisukohast. Esitatakse alternatiivsete välisseinakonstruktsioonide kvaliteedi hindamise tulemused.

Tulemusvest selgub, et ENSV-s kasutatavate põlevkivituhk-gaasbetoonist välisseinte kvaliteet on keskmine. Seetõttu on nende tootmise laiendamine vaieldav.

## С о д е р ж а н и е

1.	В.Х. Кикас, А.А. Хайн, Ю.Э. Сейдманн. Технико-экономическая эффективность производства специальных сланцевольных портландцементов.....	3
2.	Х.В. Иоон, В.Э. Нурм. Распределение фаз в разных фракциях буроугольных зсл.....	12
3.	В.Э. Нурм, Э.Ю. Пиксарь. Зависимость активности зольных цементов от качества золы.....	20
4.	Х.Ф. Иоон. Деформации крупнозернистых золопортландцементных бетонов при их замораживании....	27
5.	Р.Х. Пунтсе, И.А. Лаул. Возможности улучшения свойств крупнозернистого бетона с добавкой С-З	36
6.	В.Х. Кикас, П.А. Уткин, Ю.Г. Расс. Использование фракций летучей золы сланца-кукерсита в качестве добавки к бетонам.....	44
7.	Я.М. Нюссик. Гипотезы о механизме твердения портландцементов.....	58
8.	Л.И. Микли. О потребительском качестве стеновых конструкций из газозолобетона.....	78



Цена 90 коп.

EESTI AKADEEMILINE RAAMATUKOGU



1 0200 00082439 5