

Ep. 6.7

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED  
ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

Серия А

№ 188

1961

---

**СБОРНИК ТРУДОВ  
ПО ИЗУЧЕНИЮ ЗОЛЫ  
СЛАНЦА-КУКЕРСИТА**

**II**

Таллин, 1961



Ер. 6.7

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED  
ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

Серия А

№ 188

1961

---

СБОРНИК ТРУДОВ  
ПО ИЗУЧЕНИЮ ЗОЛЫ  
СЛАНЦА-КУКЕРСИТА

II

Таллин, 1961

## ОГЛАВЛЕНИЕ.

1. В. Х. Кикас, Э. Э. Когерманн. О промышленном сепарировании летучей золы пылевидного сжигания сланца . . .	3
2. Э. Э. Когерманн. Результаты исследования воздушной сепарации летучей золы на полупромышленной опытной установке . . .	25
3. В. Х. Кикас, Т. А. Лаур. О технологии и свойствах кукуермитового газобетона, изготовленного из фракций циклонной золы . . .	46
4. Т. А. Лаур. О предварительном гашении золы в производстве кукуермитового газобетона . . .	60
5. К. К. Оллик. Прочность и твердость кукуермитового газобетона . . .	70
6. О. Т. Роотс. Применение электроакустических методов для определения прочности ячеистого кукуермитового бетона . .	82
7. О. А. Вахелайд, Х. А. Ремма. Прочность кукуермитовых газобетонных крупных блоков и определение их марки на основе прочности высверленных из блоков цилиндрических образцов . . .	89

Ер 4143



*В. Х. Кикас, Э. Э. Когерманн*

## **О ПРОМЫШЛЕННОМ СЕПАРИРОВАНИИ ЛЕТУЧЕЙ ЗОЛЫ ПЫЛЕВИДНОГО СЖИГАНИЯ СЛАНЦА**

Роль летучей золы, образующейся при пылевидном сжигании сланца, как сырья для производства в республике различных строительных материалов, в недалеком будущем резко возрастет. Например, потребление летучей золы сланцев промышленностью строительных материалов Эстонской ССР превысит в ближайшие годы 500 000 тонн.

Все это обусловлено тем, что летучая зола сланца-кукерыта является промышленным отходом, обладающим хорошими вяжущими свойствами, использование которого в промышленности строительных материалов даст возможность резко увеличить выпуск материалов и снизить их себестоимость. Соответствующие исследования [1, 2, 3] показали, что качество материалов, производимых на базе летучей золы, можно в значительной степени повысить, и расширить область их применения, если разделить летучую золу на отдельные фракции, резко различающиеся по составу и вяжущим свойствам, и использовать эти фракции по-отдельности.

В настоящей статье рассматриваются вопросы, связанные с проведением промышленной сепарации летучей золы сланцев и приводятся практические примеры о разработке сепарационных систем для конкретных условий.

### **Основные принципы осуществления промышленной сепарации летучей золы**

При решении технических и технологических вопросов, связанных с процессом промышленной воздушной сепарации

рации летучей золы сланцев, необходимо учитывать экономическую сторону вопросов, чтобы добиться разработки высокоэффективного процесса сепарации с минимальными затратами.

После определения на основе свойств золы, подлежащей сепарации, количества фракций и показателей, характеризующих их свойства, вся проблема будет сводиться к подбору подходящей сепарационной установки и режима сепарации.

Учитывая значительное изнашивающее действие золы и интенсивное налипание мелких частиц золы к поверхностям, при промышленной сепарации необходимо применять установки, имеющие простую конструкцию и несложную конфигурацию. Это обеспечит большую надежность в работе и позволит довести гидравлическое сопротивление до минимума. Последнее обстоятельство особенно важно при выборе установок, так как расход энергии при эксплуатации находится в прямой зависимости от гидравлического сопротивления установки. Электроэнергия же составляет основную часть ( $\approx 85\%$ ) расходов, связанных с воздушной сепарацией.

При выборе режима сепарации необходимо иметь в виду то обстоятельство, что высокая эффективность процесса достигается в том случае, когда частицы золы в результате пребывания в рассыпчатом состоянии, еще не слиплись между собой и концентрация золы невысока.

В этом отношении довольно благоприятные условия имеются в котельном агрегате, где осуществляется пылевидное сжигание сланца. Летучая зола, образующаяся при сгорании пылевидного сланца в топке, поддерживается дымовыми газами все время во взвешенном состоянии. При этом концентрация золы в дымовых газах низка и не превышает обычно  $30\text{--}70 \text{ г/м}^3$ . В результате низкой концентрации и больших размеров дымоходов число взаимных столкновений частиц золы там минимально и распределение частиц по сечению более или менее равномерно. Поэтому достаточно лишь оформить комплекс золоулавливающих установок котла таким образом, чтобы зола отделялась в них по фракциям, и проблема сепарации может быть решена более успешно. В таком случае как улавливание летучей золы, так и ее разделение на фракции происходило бы одновременно и процесс сепарации не требовал бы ника-

ких дополнительных расходов. К сожалению это не всегда так просто осуществимо и в особенности на имеющихся котельных агрегатах, где компоновка котельных установок не дает возможности для проведения необходимых перестроек. В этом случае необходимо проведение частичной или полной сепарации золы в самостоятельной сепарационной установке. В том случае, когда для транспортировки летучей золы используется пневматический транспорт, целесообразно проводить дополнительное сепарирование золы в золоуловителях пневмотранспорта. Непременным условием этого, однако, является, во избежание сильного слипания частиц золы, осуществление транспортировки сразу после выделения ее из дымовых газов и, кроме того, концентрация золы при сепарации не должна превышать  $500\div 700 \text{ г/нм}^3$ .

Следовательно, при разработке системы промышленной сепарации летучей золы могут быть использованы следующие принципиальные схемы:

- а) сепарирование золы в золоуловительных установках котельного агрегата;
- б) сепарирование золы в золоуловительных установках пневмотранспорта;
- в) комбинированное применение предыдущих схем, когда сепарирование осуществляется частично в золоуловительных установках котельного агрегата и частично в золоуловительных установках пневмотранспорта.

С технической и экономической точек зрения наиболее целесообразным является, несомненно, сепарирование летучей золы непосредственно в котельном агрегате. На втором месте по целесообразности способ комбинированной сепарации. Осуществление полного сепарирования в золоуловительных установках пневмотранспорта оправдано только в исключительных случаях. Выбор той или иной схемы зависит от конкретных условий и должен быть экономически обоснован.

Изыскивая возможности для сепарирования золы в котельном агрегате, необходимо иметь в виду возможности для улучшения эксплуатационных качеств котла.

Как известно, основным узким местом в эксплуатации котельных агрегатов, работающих на пылевидном сланцевом топливе, является относительно быстрое изнашивание труб и установок, соприкасающихся с летучей золой. Самым опасным местом, с точки зрения износа,

является у котлов экономайзер. Так как доминирующую роль в абразивном износе труб играют крупные частицы золы, то основная борьба против изнашивания экономайзера должна заключаться в изыскании возможностей отделения крупных частиц золы из дымовых газов непосредственно после выхода летучей золы из топки, т. е. до экономайзера. С этой целью ЦКТИ и ВТИ произвели на котлах Ахтмеской и Кохтла-Ярвеской ТЭЦ целый ряд экспериментов, не давших однако до сего времени еще радикального решения вопроса. [4, 5].

В 1955—56 г.г. у начала дымоходов котлов № 1 и № 3 Ахтмеской теплоэлектростанции были построены обладающие хорошими эксплуатационными свойствами инерционные жалюзийные золоуловители, оказавшиеся, однако, для данного случая неподходящими. Установка за короткий срок, несмотря на то, что шаг лопастей решетки был выбран достаточно большим, засорилась. Позднее расстояние между элементами было еще более увеличено (до 200 мм), однако надежности в работе все же достигнуто не было и жалюзийные золоуловители были с котлов сняты. Максимальная степень золоулавливания этих установок при пуске равнялась соответственно в случае большего шага лопастей решетки 20% и меньшего — 40% [4].

Примерно в то же самое время был перестроен пятый котел Кохтла-Ярвеской теплоэлектростанции. Путем постройки дополнительных газоходов экономайзер был помещен на восходящем газовом потоке и под ним образована камера осаждения для выделения крупных частиц золы (рис. 1.). Из-за небольших размеров камеры скорость движения дымовых газов в ней велика и из дымовых газов выделяются только очень крупные частицы золы (2÷3% от всей летучей золы).

В 1957 году на Кохтла-Ярвеской теплоэлектростанции был сдан в эксплуатацию 7-ой котел, дымоход которого был снабжен осадительной камерой, имеющей большие размеры (рис. 2). Степень золоулавливания камеры была равна в среднем 6%. В результате перестройки коэффициент полезного действия хотя и увеличился, но за счет надежности работы установки.

Предложения кафедры строительных конструкций Таллинского политехнического института по оформ-

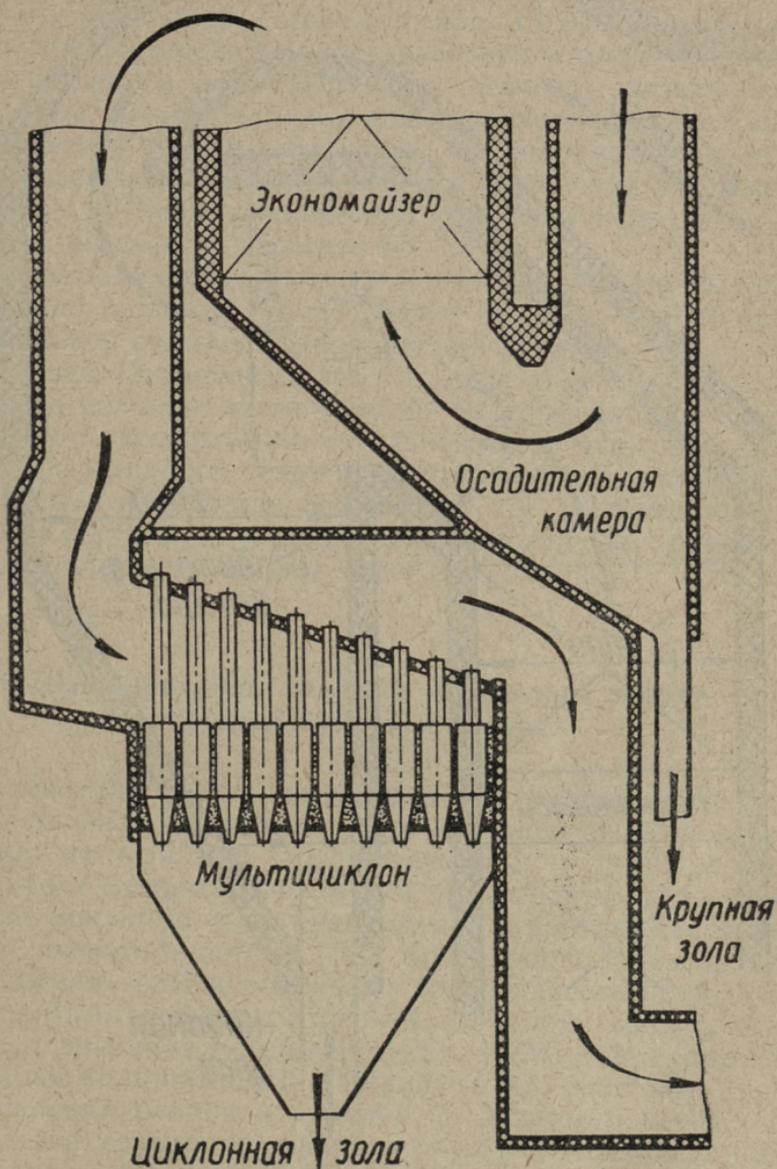


Рис. 1. Схема дымохода котла № 5 Котла-Ярвской теплоэлектростанции.

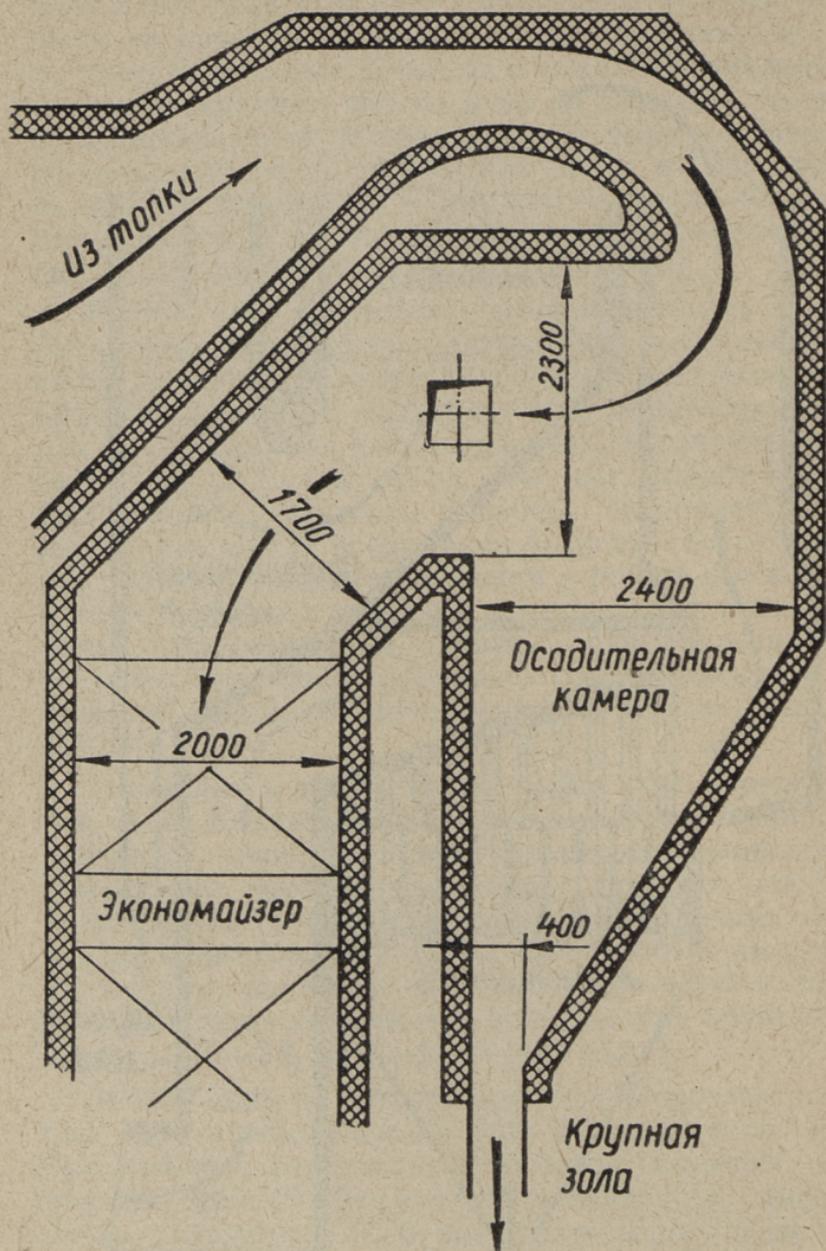


Рис. 2. Осадительная камера котла № 7 Кохтла-Ярвской теплоэлектростанции.

лению осадительной камеры котла № 8 Кохтла-Ярвской теплоэлектростанции приведены на рисунке 3-а и 3-б.

Аналогичные трудности возникли и при строительстве котельных установок Прибалтийской ГРЭС. Предварительно запроектированная осадительная камера под пароперегревателем не выполняет своего назначения ( $\eta=5-7\%$ ;  $R_{88}=80\%$ ) и в Ленинградском филиале Гипрогазоочистки разрабатывается в настоящее время более эффективное решение вопроса выделения из дымовых газов крупной фракции летучей золы перед экономайзером котельного агрегата ТП-17.

Успешное решение указанной проблемы было бы одновременно крупным шагом вперед по пути разработки рациональной системы сепарирования летучей золы горючих сланцев. Возможно более раннее выделение из дымовых газов большей части крупной золы необходимо, как для лучшей эксплуатации котельного агрегата, так и для более эффективного сепарирования летучей золы. Использование в качестве сепаратора [3] мультициклона позволит достигнуть удовлетворительного сепарирования летучей золы в котельном агрегате.

### **О сепарировании золы на Ахтмеском заводе строительных материалов**

Ахтмеский завод строительных материалов будет работать на базе циклонной золы местной теплоэлектростанции; летучая зола, улавливаемая в мультициклонах ТЭЦ, будет служить сырьем для производства гидравлического вяжущего, т. н. кукермита и строительных деталей из ячеистого бетона. Для более рационального использования золы и получения более качественной продукции было решено разделять золу при помощи воздушной сепарации на две фракции. Мелкая фракция золы пойдет на производство вяжущего, крупная же — для изготовления блоков и панелей из ячеистого бетона. В результате сепарации марка вяжущего, производимого на заводе, увеличится почти вдвое (вместо «150» и «200» — «300») и, кроме того, упростится технология изготовления изделий из ячеистого бетона.

Ахтмеский завод строительных материалов распо-

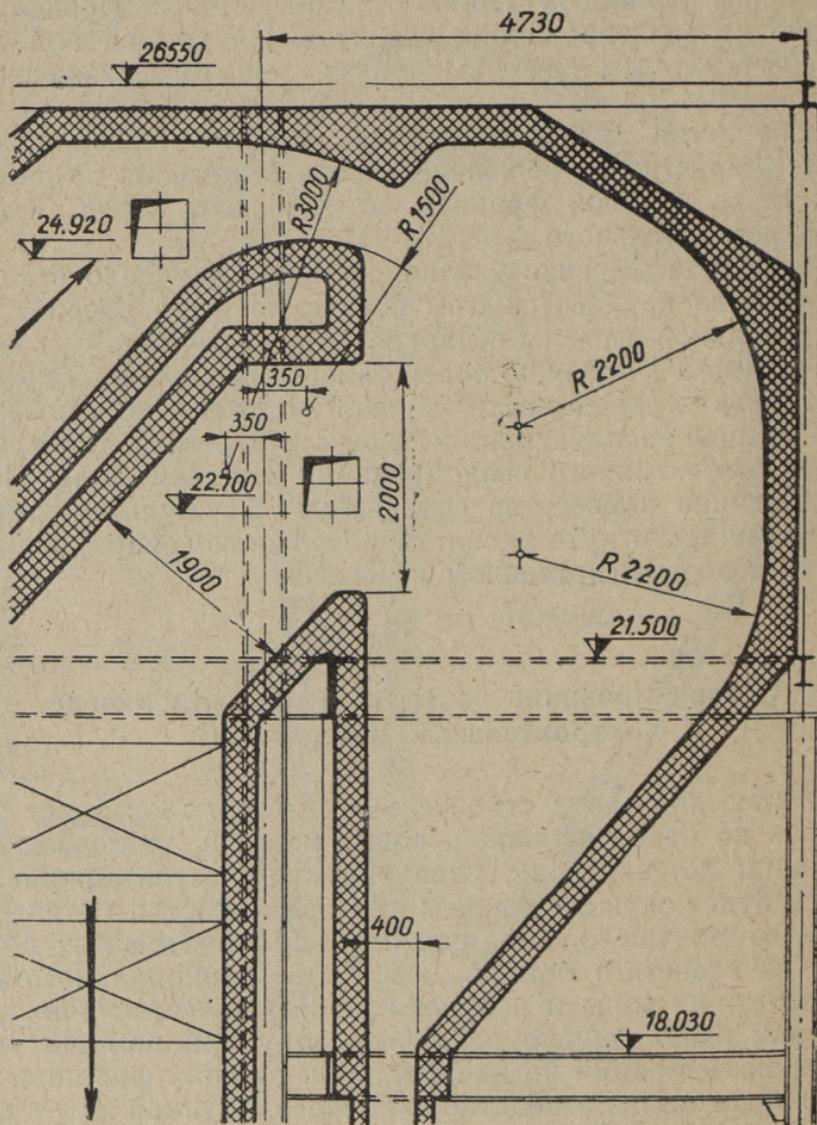


Рис. 3-а. Вариант осадительной камеры, запроектированной для котла № 8 Кохтла-Ярвской теплоэлектростанции.

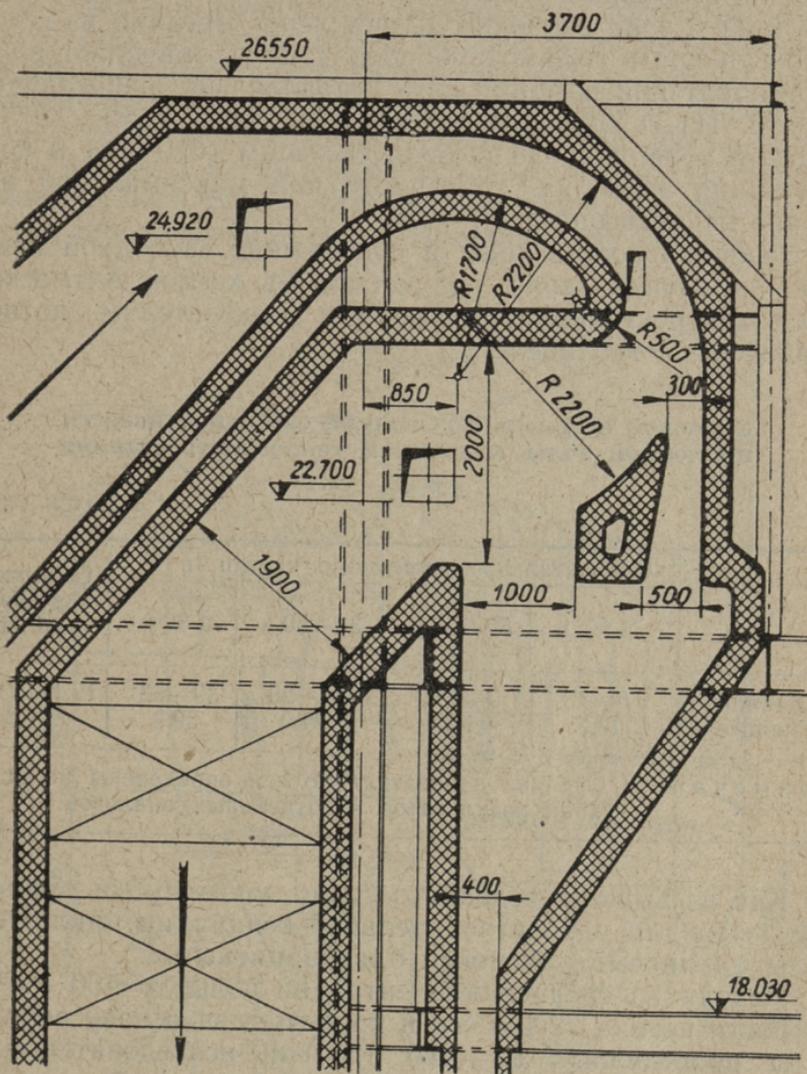


Рис. 3-б. Вариант осадительной камеры, запроектированной для котла № 8 Кохтла-Ярвской теплоэлектростанции.

жен в непосредственной близости от теплоэлектростанции. Благодаря этому оказывается возможным осуществление пневматического транспорта золы при помощи простой всасывающей системы. Это система непрерывного действия и зола свободно падает через мигалки из сборного бункера в пневмотрубопровод. Весь транспорт золы происходит при помощи двух параллельно работающих систем. Из-за высокой температуры золы ( $150\text{--}200^\circ\text{C}$ ) диаметр трубопровода выбран большим (610 мм) и концентрация золы на транспорте или максимальной нагрузке не превышает  $0,7\text{ кг/м}^3$ .

Зерновой состав золы и содержание свободной извести в циклонной золе, получаемой из котлов Ахтмеской теплоэлектростанции, по средним показателям котлов приведены в таблице I.

**Зерновой состав и содержание свободной извести циклонной золы Ахтмеской теплоэлектростанции**

Таблица I

	Относительное количество частиц, в %				Содержание СаО своб., в %
	> 90 м	60—90 м	30—60 м	< 30 м	
Границы	6—20	9—15,5	21—26	39—62	19,1—23,1
Среднее	13,3	12,4	24,0	50,3	21,2

Примечание: Средние показатели котлов определены на основании результатов 37 отдельных анализов.

Как из вышеприведенного видно, упомянутые условия являются для удовлетворительной сепарации циклонной золы на пневмотранспорте благоприятными.

Исходя из средней концентрации золы  $v=400\text{ г/м}^3$  и скорости потока  $22,4\text{ м/сек}$  и принимая за основу результаты проведенных до сего времени исследовательских работ в области воздушной сепарации летучей золы горючих сланцев, для Ахтмеского завода строительных материалов была разработана установка для улавливания-сепарирования золы (рис. 4). Установка состоит из инерционного камерного сепаратора  $\text{Ø} 2150\text{ мм}$  и мультициклона. Мультициклон состоит из четырех рядов ( $4 \times 10$  эле-

ментов) элементов БЦ-250 с винтообразным направляющим аппаратом.

Такие установки располагаются на конце обеих пневматических транспортных линий (рис. 5).

В камерном сепараторе улавливается наиболее крупнозернистая фракция. Более мелкая часть золы направляется снизу в мультициклон, где она распределяется по величине зерен между поперечными рядами. Наиболее мелкие частицы засасываются элементами, расположенными ближе к входу, более тяжелые и крупные отбрасываются по инерции дальше. Как видно из рисунка 4, золу, улавливаемую в мультициклоне, при помощи пере-

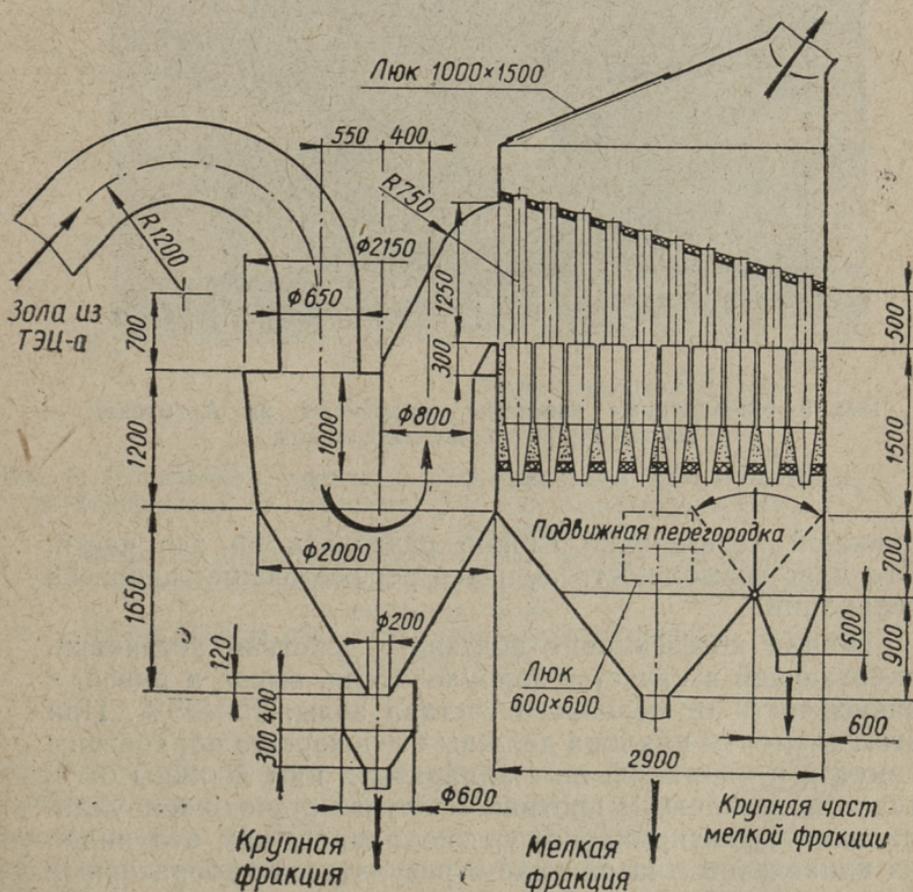


Рис. 4. Установка улавливания-сепарирования золы на Ахтмеском заводе строительных материалов

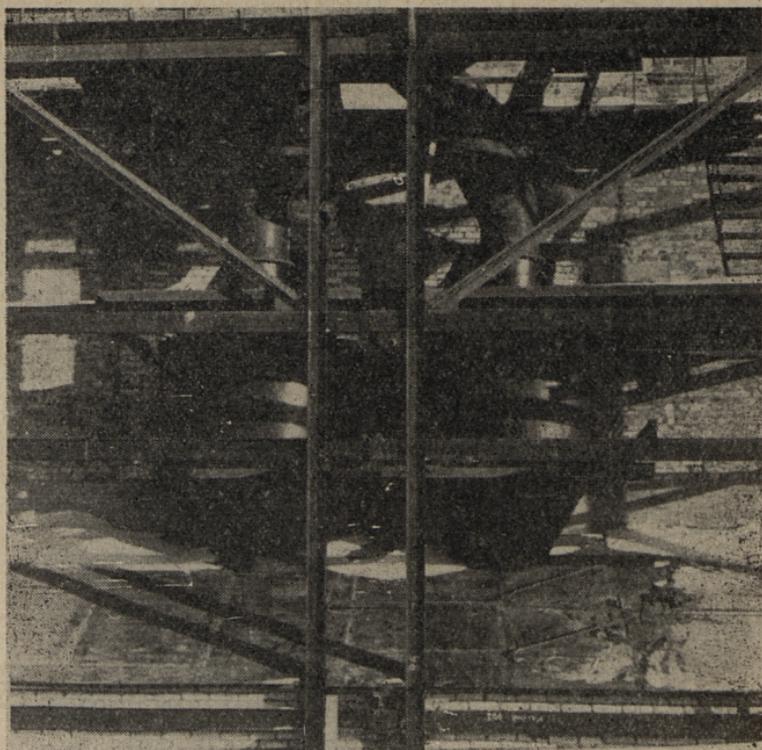


Рис. 5. Инерционные камерные сепараторы на Ахтмеском заводе строительных материалов.

движной перегородки можно разделять на две части. Это дает возможность лучшего регулирования процесса сепарации.

Общий коэффициент полезного действия установки, работающей в качестве золоуловителя, высок и равен, в зависимости от зернового состава золы, 95—98%. При этом элементы циклона должны быть хорошо обработаны изнутри и направляющие аппараты к ним должны быть точно подогнаны. В противном случае степень золоулавливания мультициклоном резко падает, как это видно из приведенных на рисунке 6 результатов лабораторных опытов. Гидравлическое сопротивление установки при нормальном режиме работы равно 85 мм/вод. ст.

В зависимости от зернового состава, концентрации

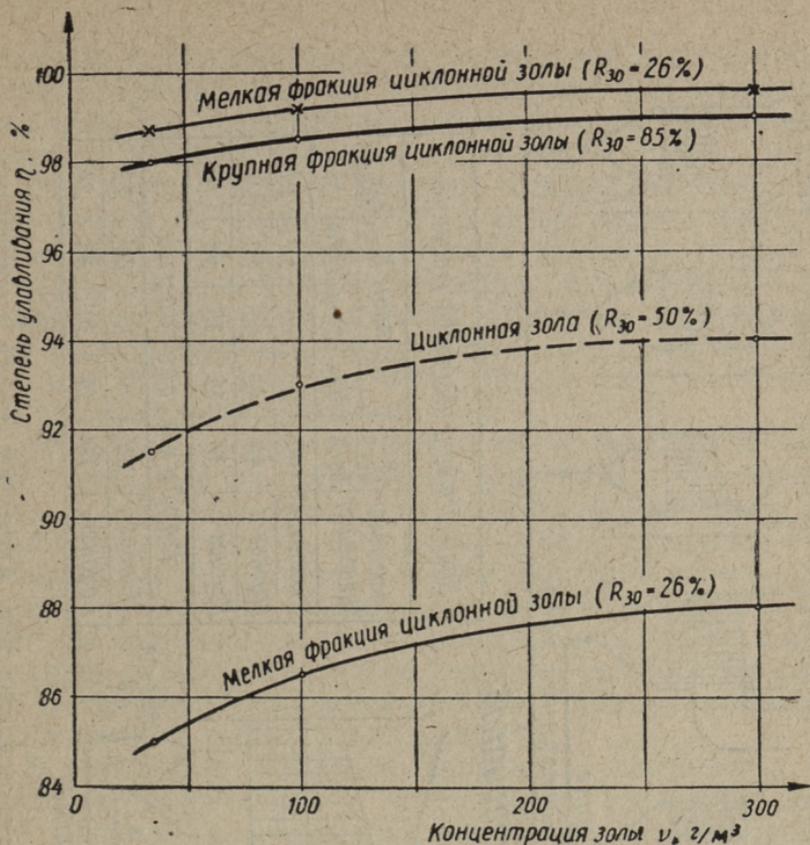


Рис. 6. Зависимость степени улавливания золы элемента БЦ-250 мультициклона от зернового состава, концентрации золы и обработки элемента.

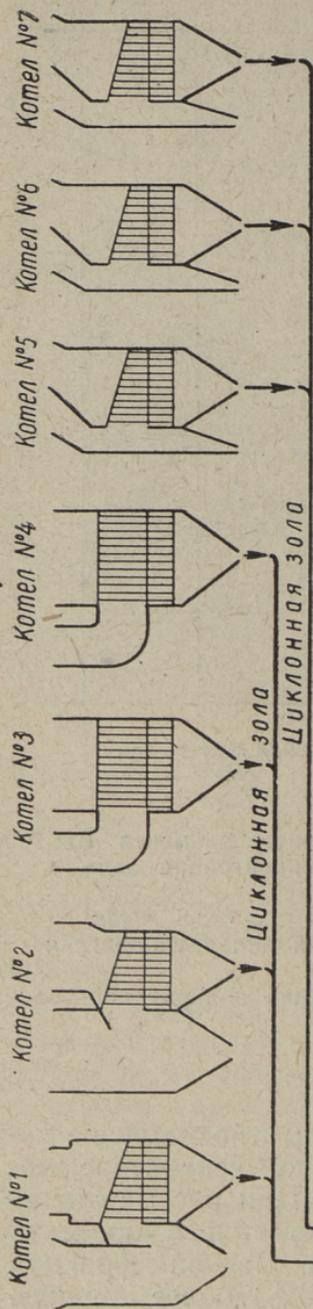
Условная скорость воздуха в циклоне  $v_{тн} = 3,8$  м/сек.

o — корпус не обработан, направляющий аппарат подогнан в корпус не точно,

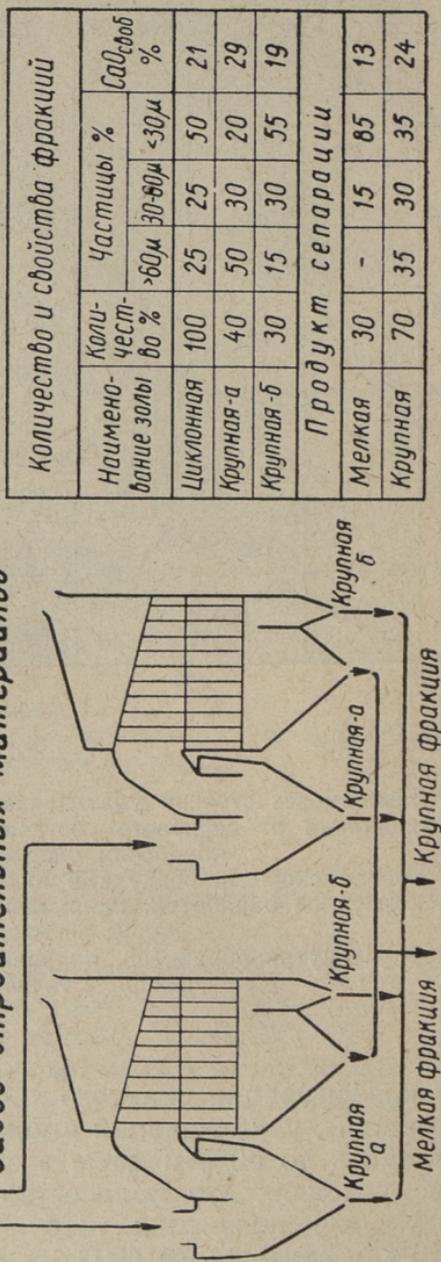
x — корпус внутри обработан, направляющий аппарат подогнан в корпус точно.

зола и конфигурации входного канала относительное количество золы, улавливаемой в камерном сепараторе, может доходить до 50% и даже выше. При рассматриваемых же условиях это количество остается в пределах 35—45%. Для получения требуемой мелкой фракции ( $R_{30} \leq 15\%$  и содержание  $\text{CaO}_{\text{своб}} \leq 13\%$ ) более крупную часть золы, выделяемую в мультициклоне, следует при-

# Ахтмеская теплоэлектростанция



## Завод строительных материалов



Количество и свойства фракций				
Наименование золы	Кол-чест-во %	Частицы %		Са <sub>д</sub> своб %
		>60м	<30м	
Циклонная	100	25	25	21
Крупная-а	40	50	30	29
Крупная-б	30	15	30	19
Продукт сепарации				
Мелкая	30	-	15	65
Крупная	70	35	30	35
				24

Рис. 7. Вариант схемы пневмотранспорта и сепарации золы Ахтмеского завода строительных материалов.

соединить к крупной фракции, получаемой в сепараторе. Соответствующий вариант схемы транспорта и сепарации золы вместе с показателями, ориентировочно характеризующими фракции, приведен на рисунке 7.

При осуществлении процесса сепарации по схеме, приведенной на рисунке 7, количество мелкой фракции равно лишь 30% и эффективность процесса сепарации  $\epsilon=42\%$ . Сравнивая эти показатели с результатами, полученными на полупромышленной установке, где количество мелкой фракции, обладающей хорошими вяжущими свойствами, достигло 50%, данное решение нельзя считать удовлетворительным.

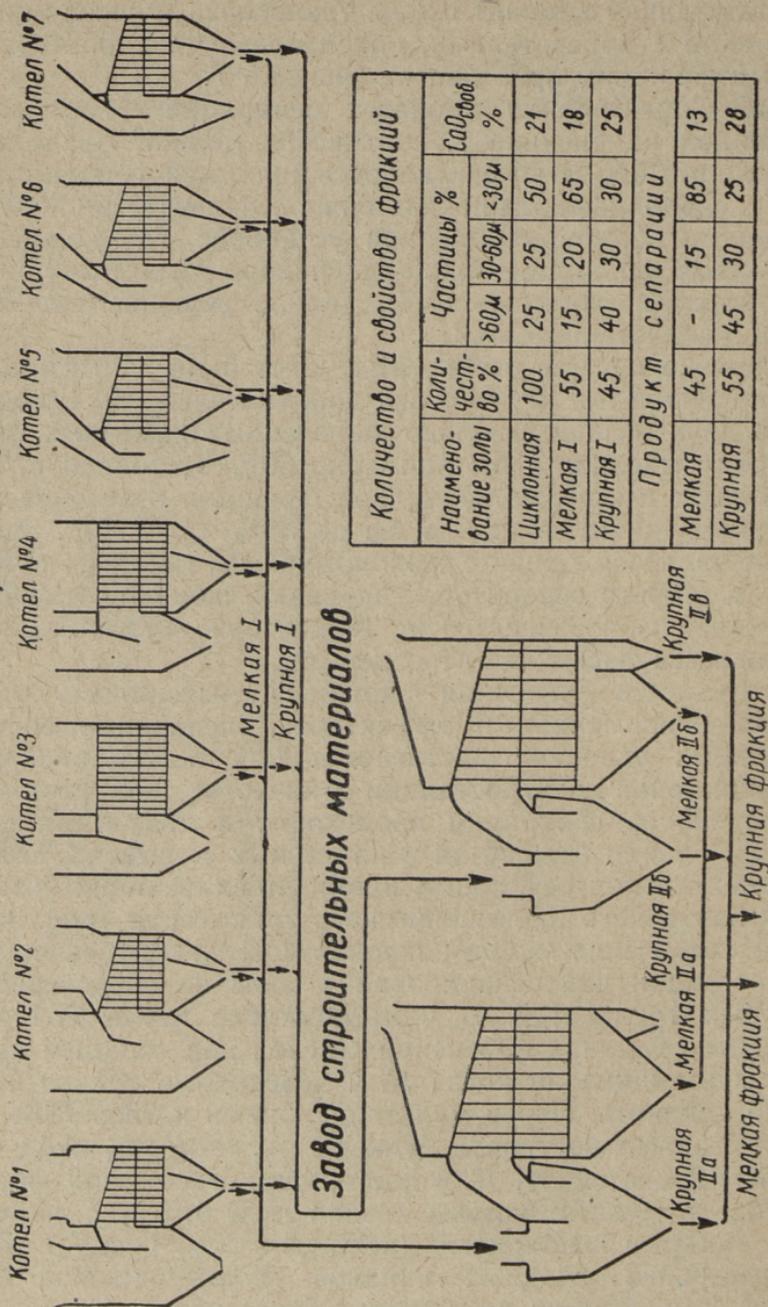
Несколько лучшие результаты могут быть достигнуты путем подключения к установке дополнительного сепаратора. В двух последовательно включенных камерных сепараторах выделялось бы примерно 60% от транспортируемой золы и количество мелкой фракции, отвечающей всем требованиям, доходило бы до 35% ( $\epsilon=51\%$ ). Это решение является, однако, неэкономичным, так как с применением второго сепаратора гидравлическое сопротивление установки повышается на 18% и при эксплуатации увеличивается расход электроэнергии.

В результате сравнения вариантов выяснилось, что наиболее экономичная и эффективная сепарация золы при данных условиях достигается при использовании мультициклонов электростанции в качестве сепараторов. В этом случае сепарация происходит в два этапа — предварительная сепарация в котельных агрегатах ТЭЦ и дополнительная сепарация в золоулавливающих установках заводского пневматического транспорта (рис. 8).

Приспособление мультициклонов котельных установок электростанции для сепарирования золы не представляет особых трудностей. В мультициклоне котла № 1 не надо делать никаких изменений. Заслон над входным каналом мультициклона котла № 2 необходимо только несколько удлинить. Перед мультициклонами котлов №№ 3 и 4 необходимо построить бункеры и устроить вход в мультициклоны снизу. Для достижения требуемой формы входа в мультициклоны котлов №№ 5, 6 и 7 имеющиеся бункеры необходимо расширить (см. рис. 7 и 8).

Перестройка входных каналов мультициклонов на ТЭЦ основывается на результатах более ранних исследований работы мультициклона [3]. Правильность расчетов

# Ахтмеская тelloэлектростанция



Количество и свойства фракций				
Наименование зольной фракции	Количество, %	Частицы, %		Са <sub>2</sub> С <sub>2</sub> О <sub>3</sub> , %
		>60 м	<30 м	
Циклонная	100	25	50	21
Мелкая I	55	15	20	18
Крупная I	45	40	30	25
<b>Продукт сепарации</b>				
Мелкая	45	-	15	13
Крупная	55	45	30	28

Рис. 8. Вариант схемы пневмотранспорта и сепарации зольной фракции строительного материала.

подтверждается и результатами, полученными после перестройки, произведенной у котла, имеющего наиболее неподходящую конфигурацию для проведения сепарирования (рис. 9-а и 9-б). На рисунках 9-а и 9-б приведена картина распределения частиц золы в мультициклоне котла № 5 Ахтмеской теплоэлектростанции до и после соответствующей перестройки. Кроме улучшения процесса сепарации, вызванного перестройкой, наблюдается еще уменьшение в циклонной золе относительного количества крупных частиц, так как после перестрой-

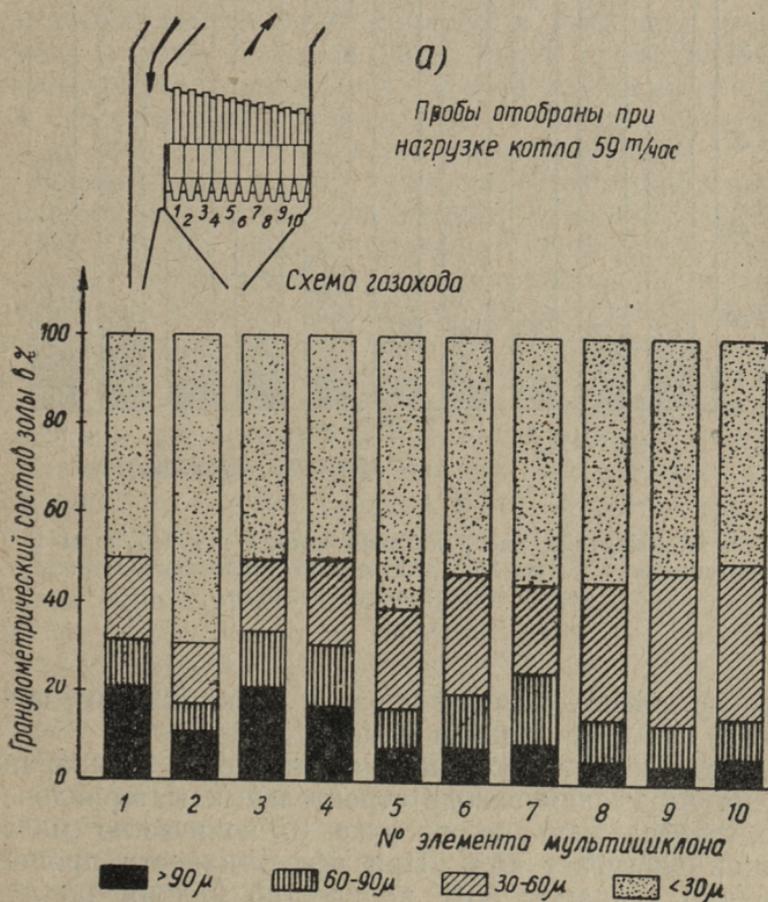
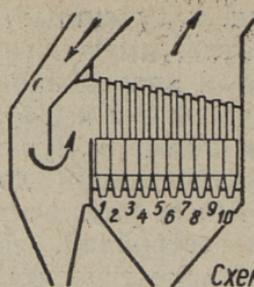


Рис. 9-а. Картина распределения частиц летучей золы в мультициклоне котла № 5 Ахтмеской теплоэлектростанции до перестройки газохода.



б)

Пробы отобраны при  
нагрузке котла 63 т/час

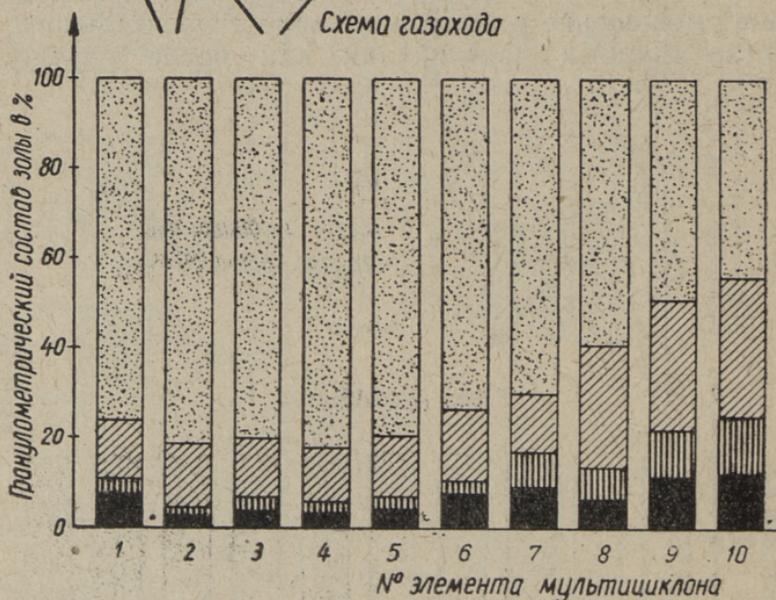


Рис. 9-б. Картина распределения частиц летучей золы в мультициклоне котла № 5 Ахтмеской теплоэлектростанции после перестройки газохода.

ки бункер, расположенный перед мультициклоном, начал работать как осадительная камера.

При решении вопроса пневмотранспорта и сепарации золы на Ахтмеском заводе строительных материалов по схеме, приведенной на рисунке 8, количество мелкой фракции достигает 45%. При эффективности процесса сепарации  $\epsilon$  равном 58% количество мелких частиц в крупной фракции мало и содержание свободной извести во фракции высоко (28%).

Практически сепарация золы по приведенным вариантам не требует дополнительных затрат, так как выбран-

ная сепарационная установка необходима для достижения удовлетворительной степени золоулавливания в данных условиях.

### **Сепарирование летучей золы для Прибалтийского комбината строительных материалов**

Строящийся в Нарве крупный комбинат строительных материалов будет получать свое основное сырье с Прибалтийской ГРЭС. Крупная фракция летучей золы, образующаяся в котельных агрегатах, работающих на сланцевом пылевидном топливе и имеющих большую мощность (220 т пара в час), будет использована для производства строительных деталей из газобетона. Мелкая фракция летучей золы будет исходным материалом для производства кукермитов высоких марок.

Улавливание летучей золы на Прибалтийской ГРЭС будет осуществляться при помощи циклонов НИИОГАЗ  $\emptyset$  1600 ЦН-24 и электрофильтров ДГП-55-3с. Каждый котел будет снабжен 2 батареями циклонов, состоящих из 6 элементов и 4 электрофильтрами. В соответствии с проектными данными летучая зола после улавливания будет распределяться таким образом, что 70% будет выделяться в циклонах и 30% в электрофильтрах. Общий коэффициент полезного действия установки  $\eta=97,5\%$ .

На основании предварительных результатов анализов летучую золу Прибалтийской ГРЭС можно охарактеризовать показателями, приведенными в таблице 2.

Из данных, приведенных в таблице 2, видно, что циклонная зола Прибалтийской ГРЭС по своему зерновому составу существенно не отличается от циклонной золы Кохтла-Ярвеской и Ахтмеской ТЭЦ. Несмотря на сравнительно небольшое содержание свободной извести циклонная зола Прибалтийской ГРЭС по своим вяжущим свойствам очень близка к циклонным золам, получаемым на Кохтла-Ярвеской и Ахтмеской теплоэлектростанциях. Между зерновым составом, содержанием свободной извести и вяжущими свойствами золы действуют те же закономерности [2, 3].

Исходя из местных условий и принимая за основу результаты исследований, проведенных до сего времени в области воздушной сепарации летучей золы и вяжущих

**Средние показатели зернового состава и содержания свободной извести летучей золы Прибалтийской, Кохтла-Ярвеской и Ахтмеской теплоэлектростанций**

Таблица 2

Наименование электростанции и вид золы	Количество частиц в золе, в %			Содержание СаО своб., в %
	> 60 м	30—60 м	< 30 м	
Прибалтийская ГРЭС циклонная зола зола из фильтров	20 —	30 —	50 100	17 7
Кохтла-Ярвеская ТЭЦ циклонная зола	20	25	55	20
Ахтмеская ТЭЦ циклонная зола	25	25	50	21

свойств фракций, оказывается наиболее целесообразным осуществлять сепарирование летучей золы для Прибалтийского комбината на теплоэлектростанции по нижеприведенной схеме (рис. 10).

1. Крупная фракция выделяется из летучей золы в инерционной осадительной камере (спроектирована по примеру камерного сепаратора). Каждый котел снабжен четырьмя осадительными камерами, поперечное сечение которых равно 4500×4500 мм.

2. Часть мелкой фракции, наиболее пригодная для изготовления кукуермитов, улавливается в батарее циклонов. Батарея состоит из шести циклонов НИИОГАЗ Ø 1200 ЦН-24. Каждый котел имеет 4 батареи.

Ориентировочные данные о распределении золы при сепарации приведены в таблице 3.

Максимальное гидравлическое сопротивление осадительной камеры равно 20 мм/вод. ст. ( $\xi=1,4$  по скорости входа). Сопротивление батареи, составленной из циклонов НИИОГАЗ Ø 1200 ЦН-24 при данных условиях оказывается ниже 50 мм/вод. ст. ( $\xi=60$ ). Общее сопротивление выбранной сепарационной установки не превышает сопротивления заменяемой батареи циклонов (по проекту 70 мм/вод. ст.) и расход энергии котельных дымовых вентиляторов остается практически прежним.

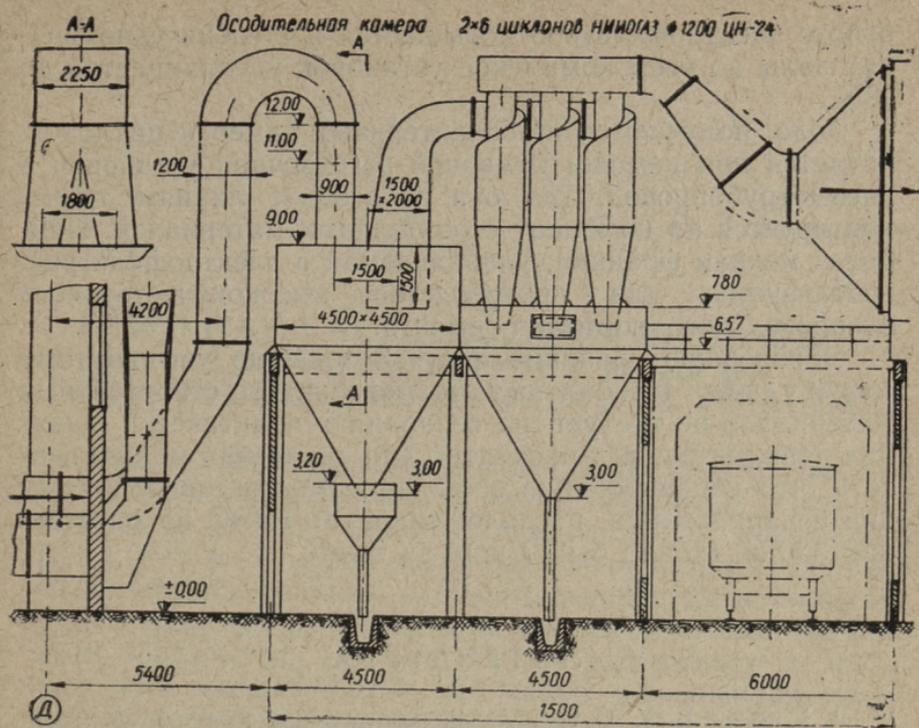


Рис. 10. Сепарационная установка летучей золы для котлов №№ 8—18 Прибалтийской теплоэлектростанции.

Так как с применением описанной сепарационной установки количество золы, попадающей в электрофильтр, уменьшается примерно на одну треть, то надежность в

Таблица 3

**Зерновой состав фракций золы, получаемых из сепарационной установки на Прибалтийской ГРЭС**

Место выделения золы	Относительное количество золы, в %	Количество частиц в золе, в %		
		> 60 μ	30—60 μ	< 30 μ
в осадительной камере	35	45	35	20
в циклонах	45	—	15	85
в электрофильтрах	20	—	—	100
Общая летучая зола	100	15	20	65

работе электрофильтров повышается и степень улавливания золы во всем комплексе установок увеличивается до 98%.

Зола, получаемая из осадительных камер и циклонов, подается при помощи камерной загрузочной установки в пневмотрубопровод, где она по разным линиям транспортируется на комбинат строительных материалов. Наиболее мелкая фракция, улавливаемая в электрофильтрах, используется для производства высококачественного сланцезольного портланд-цемента.

Образование фракций летучей золы по упомянутому способу для Прибалтийского комбината строительных материалов не требует на сепарацию практически никаких дополнительных расходов. Для сравнения можно сказать, что сепарирование золы на самостоятельной станции сепарирования, расположенной от ГРЭС на расстоянии 300 м, стоило бы 13 коп. за тонну.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кикас В. Х. О технологии изготовления кукермитов. Сборник трудов по изучению золы сланца-кукерсита I, Таллин, 1959.
2. Когерманн Э. Э. Улучшение вяжущих свойств пылевидной сланцевой золы при помощи воздушной сепарации. Сборник трудов по изучению золы сланца-кукерсита I, Таллин, 1959.
3. Когерманн Э. Э. О воздушной сепарации летучей золы пылевидного сланца в мультициклоне. Сборник трудов по изучению золы сланца-кукерсита I, Таллин, 1959.
4. Дубовский И. Е., Патронова М. В. и Кангизер Р. А. Исследование сжигания эстонского сланца и золowego износа труб в котле БКЗ 75/39. Отчет научно-исследовательской работы. ЦКТИ, Ленинград, 1957.
5. Дубовский И. Е., Гольдберг Ю. А. и Кангизер Р. А. Исследование золowego износа трубных пучков на стенде при сжигании сланцев. Отчет научно-исследовательской работы. ЦКТИ, Ленинград, 1958.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗДУШНОЙ СЕПАРАЦИИ ЛЕТУЧЕЙ ЗОЛЫ НА ПОЛУПРОМЫШЛЕННОЙ ОПЫТНОЙ УСТАНОВКЕ

Исследования свойств фракций золы, полученных при проведении лабораторных опытов воздушной сепарации летучей золы пылевидного сжигания сланца, показывают [1, 2], что зола может быть разделена путем воздушной сепарации на фракции, в значительной степени отличающиеся друг от друга по своим вяжущим свойствам. При этом выясняется, что, чем больше содержится во фракции золы мелких частиц, тем более качественное получается из нее гидравлическое вяжущее. Так, например, из мелкой фракции циклонной золы, которая содержит не менее 85% частиц размером меньше 30 $\mu$  и содержание в которой свободной извести не превышает 13%, можно изготовлять путем размола гидравлическое вяжущее, отвечающее требованиям марки «300». С другой стороны, крупная фракция, содержащая свыше 30% легко гасящейся активной свободной извести, может быть использована в качестве известкового вяжущего при изготовлении силикатных изделий. Результаты исследований показывают, что использование летучей золы горючих сланцев в виде отдельных фракций позволяет получать более качественные строительные материалы и значительно расширяет область применения сланца. Это, в свою очередь, дает возможность осуществлять комплексное использование низкокачественных сортов сланца.

На основе имеющихся результатов опытов [1, 2] нельзя определить оптимальное распределение частиц золы в процессе сепарации, так как разные используемые материалы дают в этой части весьма различные результаты. Так, в лабораторных опытах сепарации циклонной золы было получено примерно 7—13% мелкой фракции, обла-

дающей хорошими вяжущими свойствами (вяжущее марки «300» и выше). Путем повторного сепарирования это количество удалось увеличить до 16%. Однако, в промышленном мультициклоне, работающем сепаратором (одинарная сепарация), относительное количество указанной мелкой фракции было примерно в 2 раза больше вышеприведенного и равнялось 20—25%.

Как известно, в циклонной золе содержится в среднем 50—60% частиц, размер которых ниже 30 $\mu$ . Исходя из этого, путем осуществления эффективной сепарации должна иметься возможность для значительного увеличения количества фракции, обладающей хорошими вяжущими свойствами, так как вяжущие свойства фракций, получаемых при воздушной сепарации, находятся в прямой зависимости от содержания во фракции мелких частиц (размером меньше 30 $\mu$ ).

Для нахождения радикального решения проблемы сепарации золы необходимо детальное исследование вопроса слипания частиц золы, как одного из решающих факторов, влияющих на эффективность сепарации. Кроме того, необходимо разработать рациональные методы оценки качества процесса сепарации и подходящие промышленные установки.

Для решения вышеперечисленных задач исследования воздушной сепарации летучей золы были продолжены на специально построенной для этой цели промышленной опытной установке.

### **Описание опытной установки и методика исследования**

Полупромышленная опытная установка является трехступенчатой. Первую и вторую ступени образуют, показавшие хорошие результаты при лабораторных испытаниях, инерционные камерные сепараторы [1, 3] с номинальным диаметром, равным соответственно 1100 и 1400 мм. В качестве третьей ступени установки используется мультициклон, имеющий высокий коэффициент полезного действия. Мультициклон состоит из двух рядов широко применяемых на практике элементов БЦ-250 с винтообразным направляющим аппаратом [2, 4, 5]. Полупромышленная сепарационная установка схематически изображена на рисунке 1.

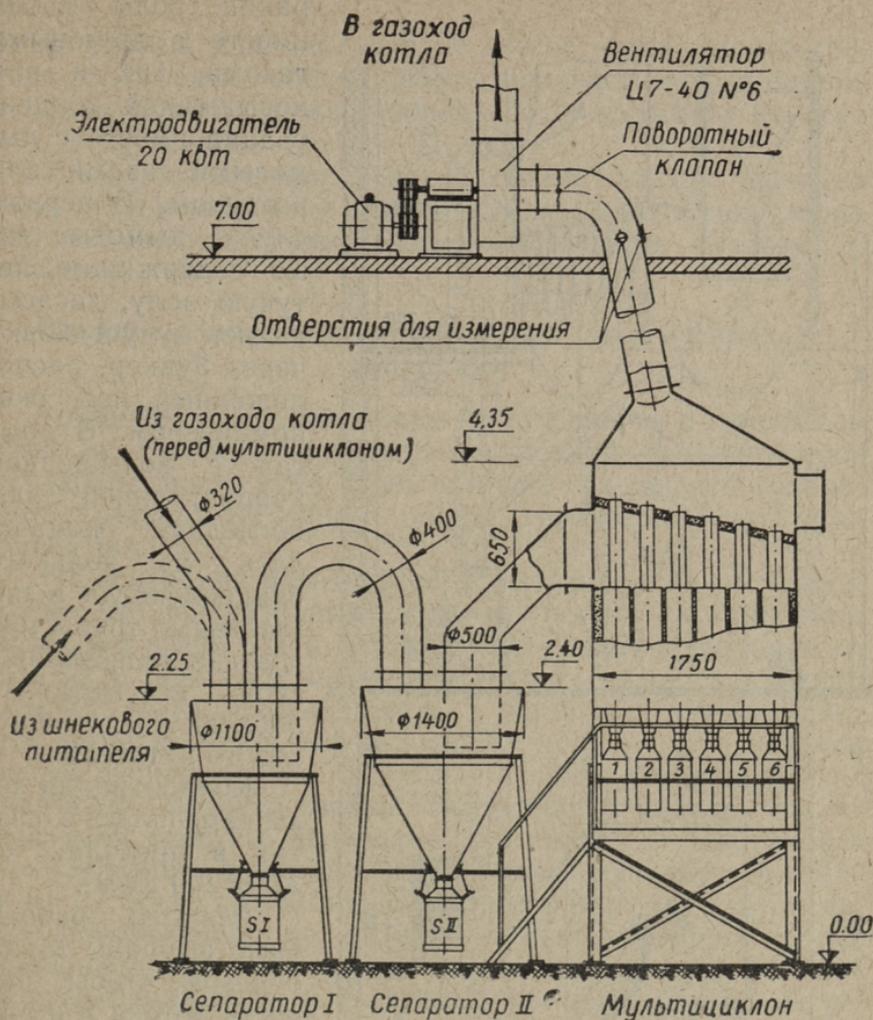
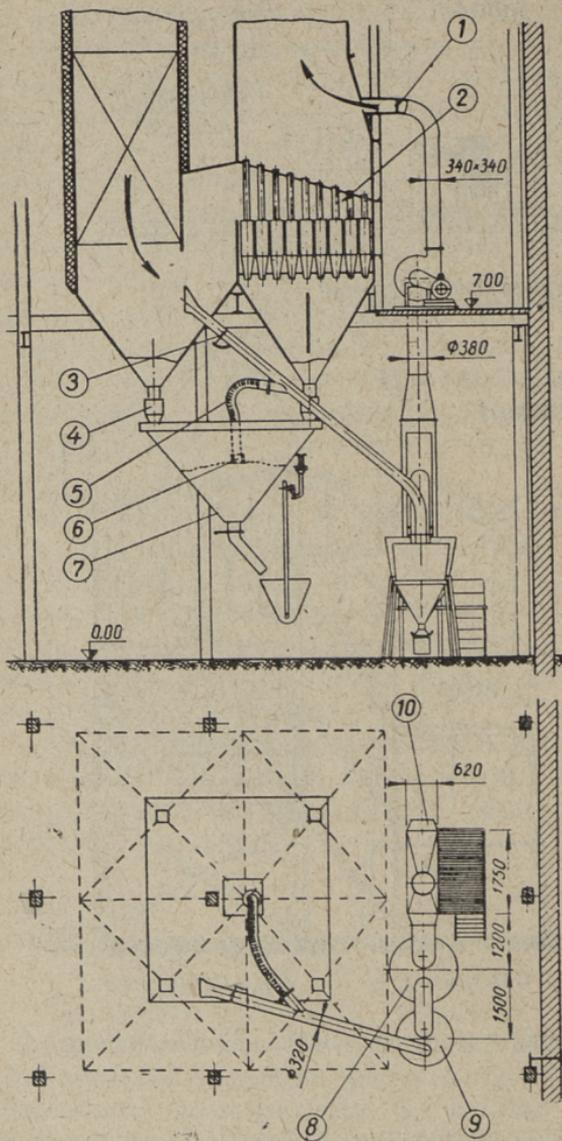


Рис. 1. Полупромышленная установка воздушной сепарации.

Как видно из рисунка, установка позволяет разделять золу на восемь фракций (SI, SII, M1, M2, M3, M4, M5, M6).

Сепарационная установка смонтирована на котлоагрегате № 4 Кохтла-Ярвеской теплоэлектростанции и соединена с дымоходом котельной установки, как это показано на схеме, приведенной на рисунке 2. Питательная система построена таким образом, что позволяет подавать в установку летучую золу, как при нормальной концент-



рации золы котла вместе с дымовыми газами, так и при повышенной концентрации вместе с дымовыми газами или воздухом. В первом случае дымовые газы, содержащие летучую золу, засасывались в установку через бункер, расположенный под экономайзером. В опытах с повышенной концентрацией золы последняя подавалась из зольного бункера котла в питательные трубы при помощи телескопической всасывающей насадки [6] или шнекового питателя.

Концентрация золы изменялась в опытах в пределах от 37—1200 г/м<sup>3</sup>.

Режимы работы были выбраны таким образом, чтобы скорость потока в опытной установке могла бы быть изменена в возможно более широких пределах. При

Рис. 2. Схема соединения полупромышленной сепарационной установки с котельным агрегатом. 1 — поворотная заслонка, 2 — мультициклон котла, 3 — поворотная заслонка, 4 — мигалка, 5 — резиновый шланг, 6 — телескопическая всасывающая насадка, 7 — приемный бункер циклонной золы, 8 — камерный сепаратор  $\varnothing$  1400, 9 — камерный сепаратор  $\varnothing$  1100, 10 — батарея циклонов (2×6 элементов БЦ-250).

этом, однако, для циклонов не всегда удавалось обеспечить нормальные условия работы и скорость потока падала в них временами ниже минимально допустимого предела ( $v_{тс} \geq 3,5 \text{ м/сек}$ ).

У полученных при сепарационных опытах фракций золы определялись их относительные количества, зерновой состав, содержание свободной извести и вяжущие свойства.

### Влияние слипания и концентрации золы на процесс сепарации

Наиболее наглядно можно проследить за разделением золы на фракции в полупромышленной сепарационной установке по рисунку 3, на котором графически изображены результаты одного опыта, характерные для всех серий опытов.

На основании показателей, приведенных на рисунке 3, видно, что сепараторами улавливаются все частицы золы размером выше  $60 \mu$  и большая часть частиц размером от  $30-60 \mu$ . При этом количество мелких частиц (размером меньше  $30 \mu$ ), улавливаемое в камерных сепараторах, ничтожно и составляет в среднем  $16\%$  от общего количества мелких частиц. Подобная степень сепарации была достигнута подачей свежей, свободной от явлений слипания золы вместе с дымовыми газами при ее нормальной концентрации в котле (низкой для сепарации равной  $v = 37 \text{ г/м}^3$ ). Повышение концентрации золы и слипание, появляющееся при взаимном соприкосновении частиц, вызывают падение эффективности сепарации. Влияние концентрации золы и взаимного слипания частиц на результаты сепарации характеризуют показатели, приведенные на рисунках 4, 5 и 6 и в таблице 1.

При оценке эффективности процесса сепарации применялась нижеследующая формула [7, 8].

$$\epsilon_i = 10000 \cdot \frac{(a-a')(a''-a)}{(a''-a')ab} \%,$$

где  $a$  — количество мелких частиц ( $< 30 \mu$ ) в исходном материале, в  $\%$ ,

$b$  — количество крупных частиц ( $> 30 \mu$ ) в исходном материале, в  $\%$ ,

$a'$  — количество мелких частиц ( $< 30 \mu$ ) в крупной фракции, в  $\%$ ,

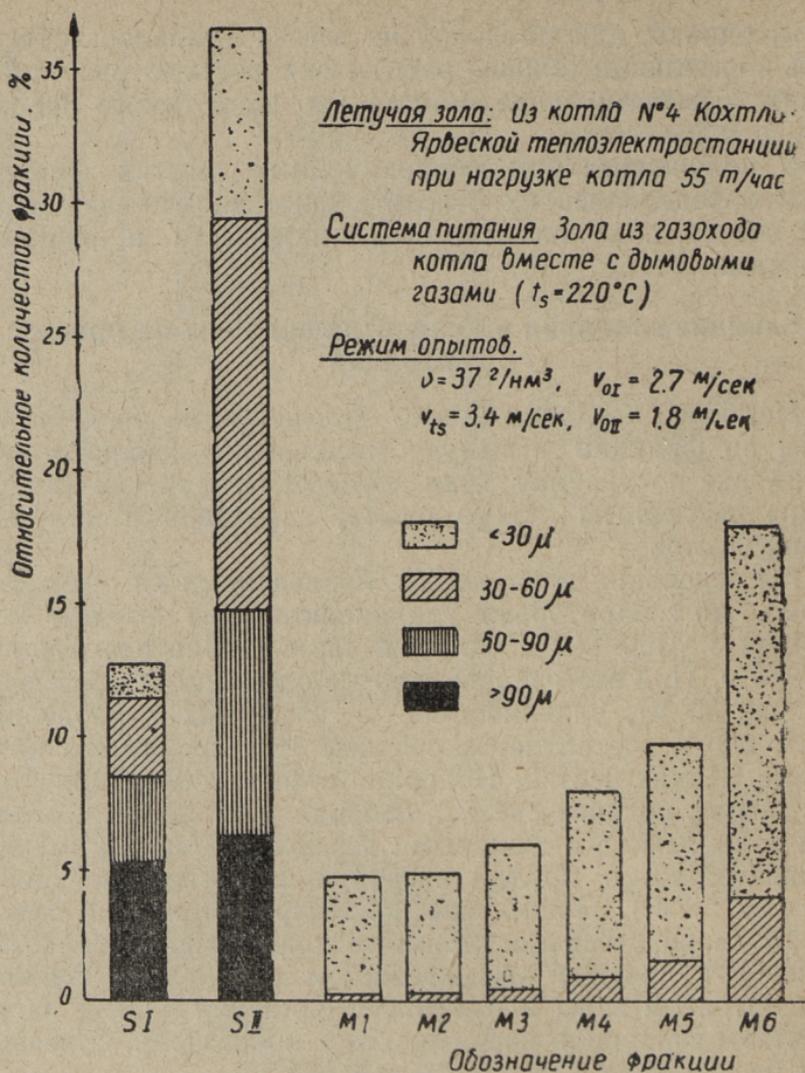


Рис. 3. Относительные количества и зерновой состав фракций летучей золы, полученных на полупромышленной сепарационной установке.

Примечание.

$t_s$  — температура дымовых газов или воздуха, засасываемого в сепарационную установку, в  $^\circ\text{C}$ ;

$v$  — объемная концентрация золы, в  $\text{г/м}^3$ ;

$v_{ts}$  — условная скорость газов в циклонах, в  $\text{м/сек}$ .;

$v_{0I}$  — условная скорость газов в первом камерном сепараторе, в  $\text{м/сек}$ ;

$v_{0II}$  — условная скорость газов во втором камерном сепараторе, в  $\text{м/сек}$ .

$a''$  — количество мелких частиц ( $< 30 \mu$ ) в мелкой фракции, в %.

При классификации материала на мелкий и крупный предельной величиной считалось  $30 \mu$ . Таким образом, мелкую часть летучей золы составляет та часть материала, которая проходит сквозь сито с величиной отверстия равной  $30 \mu$ . Остаток на сите является крупной частью золы.

Из соотношений, приведенных на рисунке 4, видно, что с увеличением концентрации с 37 до  $800 \text{ г/нм}^3$  эффективность сепарации уменьшается более, чем на 10%. Взаимное слипание частиц тоже оказывает большое влияние на процесс сепарации. Так, в опытах при подаче золы шнековым питателем эффективность сепарации была, в среднем, на 12% ниже, чем в опытах, в которых летучая зола подавалась в сепарационную установку вместе с дымовыми газами непосредственно после выхода из топки. При использовании всасывающей насадки эффективность сепарации была больше, чем в случае работы со шнековым питателем (средняя кривая на рисунке 4). Из этого следует, что слипание особенно интенсивно в том случае, когда частицы золы под влиянием давления или встряхивания тесно соприкасаются друг с другом. Такое положение имеет место при подаче шнеком золы, находящейся в сборном бункере под влиянием давления от собственного веса. Явно выраженный эффект уплотнения материала наблюдается при встряхивании бункера питателя во время работы. Слипание частиц золы, подававшейся при помощи всасывающей насадки, было значительно меньшим, т. к. в этом случае материал из сборного бункера брался с поверхности.

Принимая за основу то, что влияние концентрации золы на эффективность сепарации одинаково при любой степени слипания, была выведена связь между концентрацией и эффективностью сепарации для случая, когда не имеет места слипание золы (самая верхняя кривая на рисунке 4). При этом исходили из среднего показателя, полученного в опытах при концентрации золы в дымовых газах котла, равной  $\epsilon = 67\%$ .

Полученные результаты дают наглядную картину о влиянии взаимного слипания частиц золы на воздушную сепарацию. Так выясняется, что эффективность сепарации

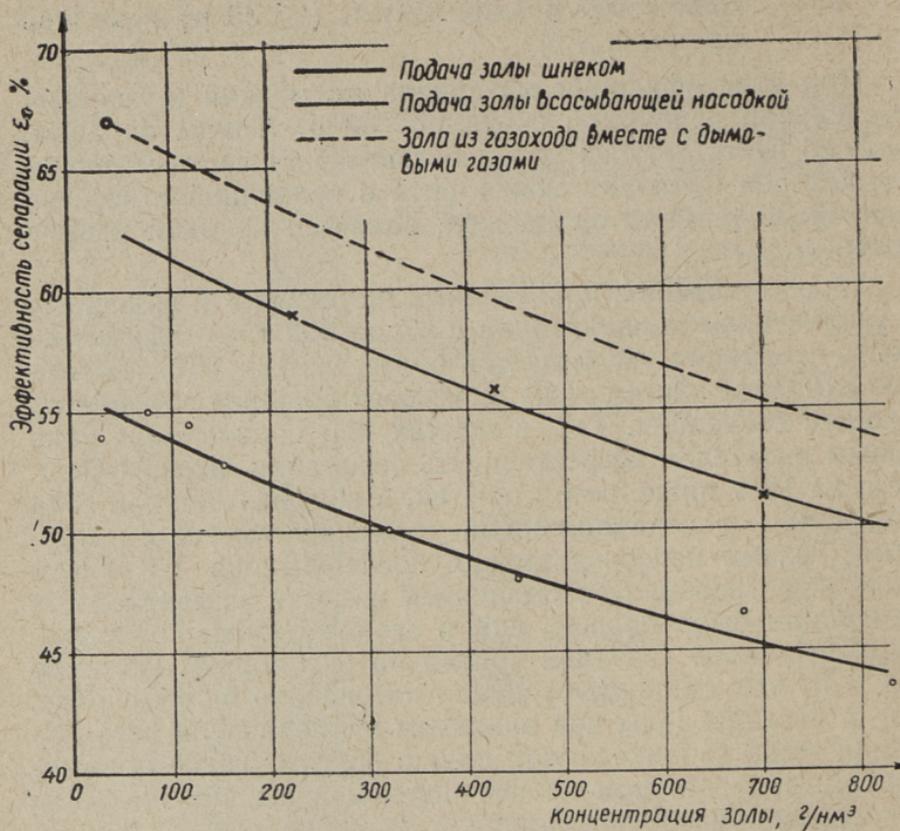


Рис. 4. Зависимость эффективности воздушной сепарации летучей золы от концентрации золы.

слипшейся золы с концентрацией менее  $100 \text{ г/м}^3$  ниже эффективности сепарации неслипшейся золы даже тогда, когда концентрация ее доходит до  $700\text{--}800 \text{ г/м}^3$ . Поэтому при разработке экономичной схемы сепарации необходимо вопрос поддачи золы решать таким образом, чтобы избежать взаимного слипания частиц.

Общеизвестно, что с повышением концентрации эффективность сепарации снижается. Приняв за основу оценки процесса сепарации качество мелкой фракции, выясняется, что удовлетворительные результаты могут быть получены и в случае более высоких концентраций золы. Это видно из результатов опытов, приведенных в таблице 1.

## Относительные количества, зерновой состав и содержание свободной извести фракций летучей золы, полученных в полупромышленной сепарационной установке

Вид золы и условия сепарации	Обозначение фракции	Относительное кол-во фракции в %	Количество частиц во фракции, в %				Содержание СаОсвоб, в %
			Распределение частиц по фракциям, в %				
			> 90 м	60—90 м	30—60 м	< 30 м	
Летучая зола вместе с дымовыми газами при нагрузке котла $v = 37 \text{ г/час}$	Исходная *) зола	100,0	11,8	11,9	24,5	51,8	19,9
	Крупная (SI+SII)	49,2	$\frac{24,0}{100,0}$	$\frac{24,2}{100,0}$	$\frac{34,6}{69,2}$	$\frac{17,2}{16,6}$	28,0
	Мелкая (MI÷M6)	50,8	—	—	$\frac{14,8}{30,8}$	$\frac{85,2}{83,4}$	12,3
Циклонная зола при помощи всасывающей заслонки из бункера при нагрузке котла $v = 700 \text{ г/час}$	Исходная зола	100,0	10,3	12,5	24,7	52,5	20,8
	Крупная (SI+SII)	64,6	$\frac{19,1}{100,0}$	$\frac{20,2}{93,4}$	$\frac{30,3}{79,2}$	$\frac{30,4}{40,6}$	25,3
	Мелкая (MI÷M6)	35,4	—	$\frac{2,6}{6,6}$	$\frac{14,8}{20,8}$	$\frac{82,6}{59,4}$	12,6

\*) Данные об исходной золе выписаны при помощи соответствующих показателей фракций.

В таблице приведены результаты сепарирования двух видов золы, похожих по своим физическим и химическим свойствам. В первом опыте концентрация золы равнялась  $37 \text{ г/нм}^3$ , эффективность сепарации  $\varepsilon = 71,0\%$ . Во втором опыте, где концентрация золы равнялась  $700 \text{ г/нм}^3$ , показатель эффективности достиг только  $51,3\%$ . Несмотря на большие различия в сравниваемых опытах в эффективности процесса сепарации, получаемые мелкие фракции по своему качеству мало отличаются друг от друга. Это объясняется количественным перераспределением золы между фракциями, вызываемым повышением концентрации. Вместо указанного в таблице I относительного количества мелкой фракции, полученного в первом опыте и равного  $50,8\%$ , во втором опыте получено ее только  $35,4\%$ .

Для работы всех механических пылеуловителей и сепарационных установок, а также камерных сепараторов характерно то, что с повышением концентрации увеличивается относительное количество материала, отделяемого в установке. При этом необходимо отметить, что прирост частиц различной величины не происходит в данном случае равномерно. Наиболее интенсивным является прирост частиц размером  $30-60 \mu$  и  $60-90 \mu$ , выделяемых в камерном сепараторе при повышении концентрации до ее предела, равного  $\nu = 600-800 \text{ г/нм}^3$  (рис. 5). При больших концентрациях уменьшается прирост относительного количества частиц в порядке их размеров и доминирующей остается группа частиц с размером зерен ниже  $30 \mu$ . Из вышеприведенного следует, что камерный сепаратор целесообразно применять только до известного предела концентрации. Для нахождения этого предела введем понятие о коэффициенте обогащения.

$$\text{Коэффициент обогащения } K = \frac{a''}{a},$$

где  $a$  — относительное количество частиц  $< 30 \mu$  в исходном продукте, в %;

$a''$  — относительное количество частиц  $< 30 \mu$  в мелкой фракции, в %.

Из результатов опытов, приведенных на рисунке 6, видно, что коэффициент обогащения  $K$  с повышением концентрации вначале увеличивается, при концентрациях в пределах от  $\nu = 700-800 \text{ г/нм}^3$  достигает максималь-

Циклонная зола: Из котла №2 Кохтла-Ярвесской  
теплоэлектростанции при нагрузке  
котла 61 т/час ;  $R_{30} = 57,4\%$

Система питания: Подача золы шнеком

Режим опытов:  $v_0 = 3,0 \pm 3,1^{\text{м/сек}}$  ;  $t_3 = 20^{\circ}\text{C}$

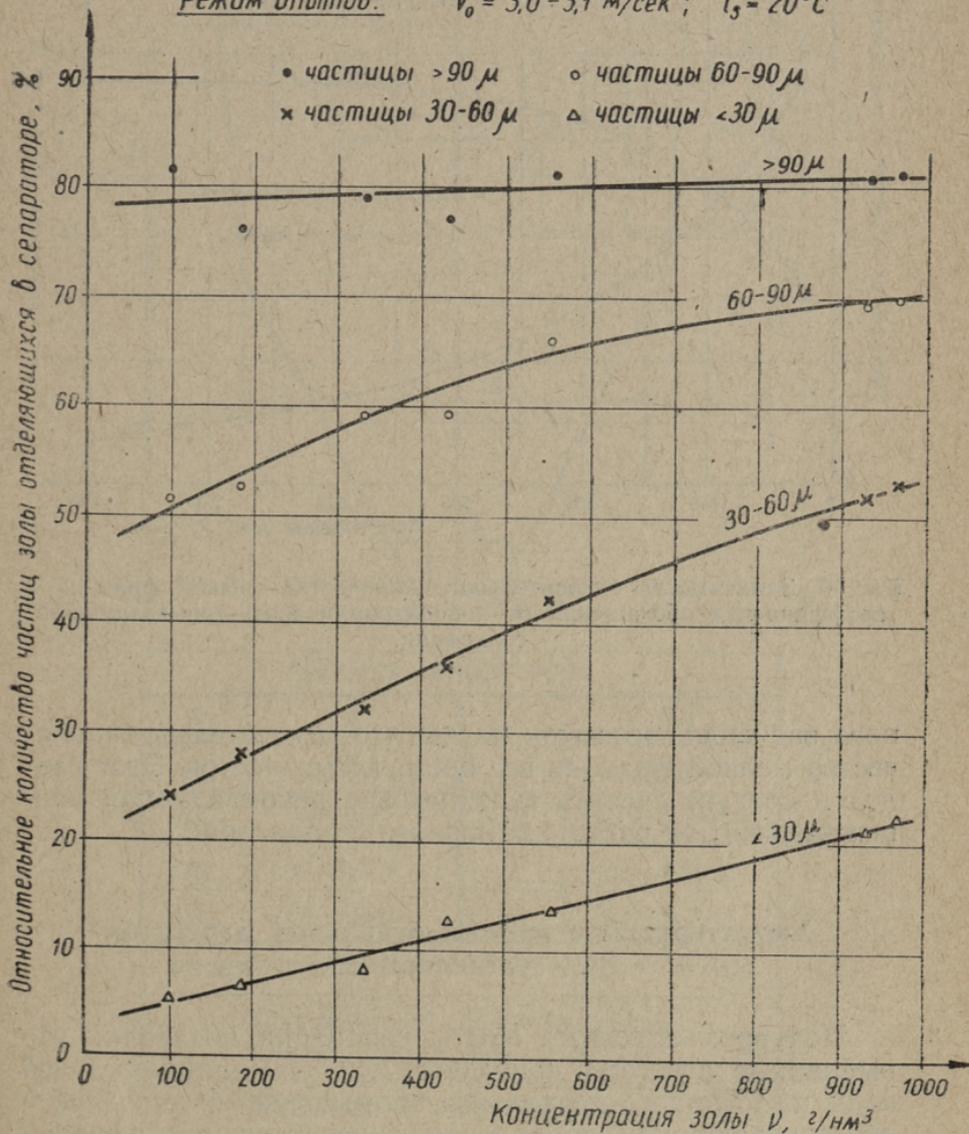


Рис. 5. Зависимость относительного количества частиц золы  $>90 \mu$ ,  $60-90 \mu$ ,  $30-60 \mu$  и  $<30 \mu$ , выделяемых в камерном сепараторе от концентрации золы.

Циклонная зола Из котла №4 Котла Ярдеской  
теплоэлектростанции при нагрузке  
котла 65 т/час;  $R_{30} = 48.6\%$

Система питания Пдача золы шнеком

Режим опытов  $v_{01} = 4.4$  м/сек.  $v_{15} = 3.5$  м/сек  
 $v_{02} = 2.5$  м/сек.  $t_s = 20^\circ\text{C}$

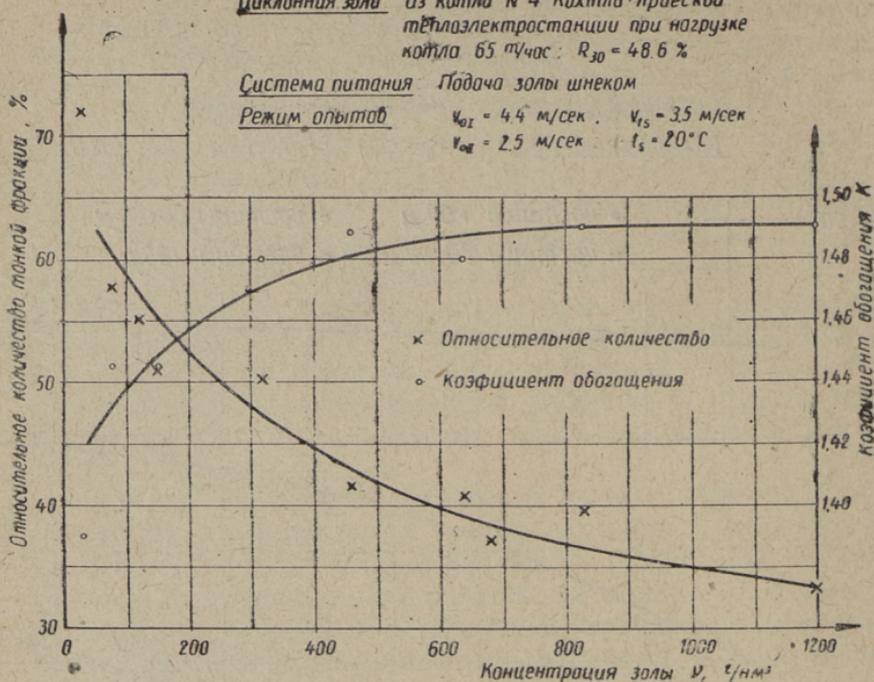
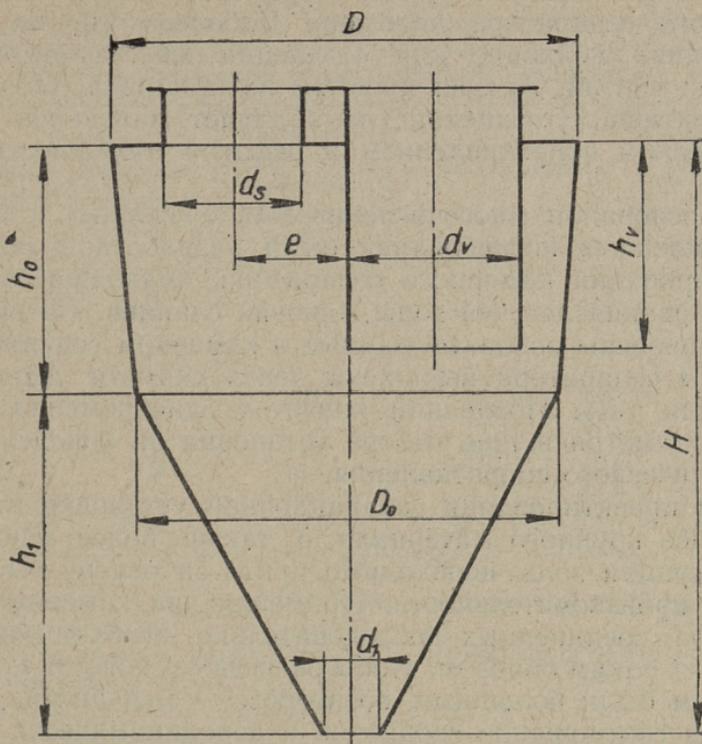


Рис. 6. Зависимость относительного количества мелкой фракции и коэффициента обогащения от концентрации золы при воздушной сепарации.

ного значения, несмотря на то, что относительное количество мелкой фракции все время уменьшается. Этот предел и следует считать максимально рекомендуемой концентрацией для работы камерного сепаратора.

### Характеристика работы отдельных агрегатов установки

Полупромышленные опыты сепарации показали, что выбранные агрегаты пригодны для сепарации летучей золы пылевидного сланца и в промышленных условиях и обеспечивают при правильном конструктивном решении и правильном режиме работы высокую эффективность процесса. Эффективность сепарации в отдельных опытах доходила до 77%.



Размеры сепаратора			
$d_s$	$d$	$e$	$0,8d$
$D_0$	$3,0d$	$h_1$	$2,5d$
$d_v$	$1,25d$	$d_1$	$(0,3 \div 0,4)d$
$h_0$	$(1,8 \div 2,2)d$	$D$	$(3,2 \div 3,5)d$
$h_v$	$(1,5 \div 1,9)d$	$H$	$(4,3 \div 4,7)d$
Производительность $Q = (35 \div 9) 10^4 d^2 \text{ м}^3/\text{час}$			
Максимальная рекомендуемая концентрация золы $0,7 \text{ кг}/\text{м}^3$			
Коэффициент гидравлического сопротивления $\xi = 1,4$			

Рис. 7. Инерционный камерный сепаратор.

Камерный сепаратор, сконструированный по образцу поточного сепаратора инженера Соболева [3], во всех отношениях подходит для отделения из летучей золы крупных частиц. Будучи простым по принципу работы и конструктивному решению, он обладает маленьким гидравлическим сопротивлением и высокой надежностью в работе.

На основании многочисленных лабораторных и полупромышленных исследований были разработаны основы проектирования камерного сепаратора, подходящего для сепарирования летучей золы горючих сланцев. На рисунке 7 приведены основные данные о камерном сепараторе. Размеры сепаратора выражены через диаметр входного отверстия ( $d_s$ ). Последний является одновременно единой диаметра и при выборе установки и определении гидравлического сопротивления.

При проектировании сепарационной установки в случае более крупного материала, а также более высокой концентрации золы необходимо брать за основу высший предел производительности. Применяя два камерных сепаратора, соединенных последовательно, необходимо выбирать их таким образом, чтобы расчетные скорости потока в первом были большими, во втором — меньшими. Подходящее соотношение габаритов и аэродинамически приемлемое решение получаются в том случае, когда выходное отверстие первого сепаратора и входное отверстие второго сепаратора являются равными ( $d_{v1} = d_{s11}$ ).

Некоторое регулирующее влияние на процесс сепарации можно оказать и путем изменения длины вертикальной части входного канала. С увеличением длины вертикальной части входного канала увеличивается кинетическая энергия частиц золы, попадающих в сепаратор и относительное количество золы, отделяемой в сепараторе.

Полупромышленные опыты полностью подтверждают результаты более ранних исследований [2] работы мультициклона, применяемого в качестве сепаратора. Мультициклон, включенный в рассматриваемую установку в качестве третьей ступени сепарации, работал и при улавливании наиболее мелкой части летучей золы как сепаратор. Это подтверждается результатами опытов, приведенными как на рисунке 3, так и в нижеследующей таблице.

Из данных, приведенных в таблице 2, видно, что фрак-

Таблица 2

Относительные количества, зерновой состав и содержание свободной извести фракций золы, полученных в мультициклоне полупромышленной сепарационной установки

Обозначение фракции	Относительное кол-во фракции, в %	Распределение золы в мультициклоне, в %	во фракции		Содержание свободной извести, в %
			>30μ	<30μ	
Мелкая фракция (М1÷М6)	50,8	—	14,8	85,2	12,3
М 1	4,7	9,3	6,8	93,2	11,1
М 2	4,8	9,5	7,8	92,2	11,0
М 3	5,9	11,6	8,0	92,0	11,6
М 4	7,9	15,5	11,8	88,2	12,0
М 5	9,7	19,1	16,0	84,0	12,9
М 6	17,8	35,0	22,0	78,0	13,0

Летучая зола. Котел № 4 Кохгла-Ярвеской ТЭЦ при нагрузке котла 55 т/час.

Питательная система. Зола из газохода котла вместе с дымовыми газами ( $t_{г} = 220^{\circ}\text{C}$ ).

Режим опытов.  $\gamma = 37 \text{ г/лм}^3$ ,  $v_{г} = 3,4 \text{ м/сек}$ .

ции золы, получаемые из отдельных поперечных рядов мультициклона, в значительной степени отличаются друг от друга по своему зерновому составу и содержанию свободной извести. Таким образом, при умелом использовании мультициклона в случае необходимости можно увеличить охват процессом сепарации.

Общая степень золоулавливания сепарационной установки при работе с различными циклонными золами и различными режимами сепарации была в пределах 94—99,5%. При точной обработке элементов мультициклона и правильном монтаже коэффициент полезного действия золоуловителя при сепарировании циклонной золы в подобной установке будет не ниже 95%.

### О вяжущих свойствах фракций золы

Между зерновым составом и вяжущими свойствами фракций золы, полученных в промышленных опытах сепарации, действуют те же закономерности, которые

Таблица 3  
 Вяжущие свойства фракций летучей золы, сепарированных на полупромышленной установке

Наименование золы или ее фракции, из которой изготовлялось вяжущее	Относительное кол-во фракции, в %	Остаток на сите с разм. отв. золь, в %	Содержание свободной извести, в %	Прочность на сжатие кукермитного раствора в кг/см <sup>2</sup>						Линейное расширение расствора, в %	Продолжительность расствора в дн		
				Образцы твердели во влажном воздухе			Образцы твердели в воде до 28 дн. возр.						
				7 дн		14 дн	28 дн		с 5 дня			с 7 дня	
				с 1 дня	с 1 дня	с 1 дня	с 1 дня	с 1 дня	с 1 дня				
Несепарированная циклонная зола	—	52,2	22,0	46	95	—	—	—	—	6,4	8		
Та же после гашения 5% водой	—	—	—	51	125	—	*17,6	82	—	0,5	11		
Фракция летучей золы SI+SII	44,6	83,8	32,1	19,2	53	—	*9,4	26	—	9,1	12		
Та же после гашения 9% водой	—	—	—	37	91	—	5,7	52	—	1,1	12		
Фракция летучей золы M1+M2+M3	37,4	21,0	14,5	102	166	83	134	—	—	3,3	6		
Та же после гашения 3% водой	—	—	—	106	176	29	149	—	—	0,1	7		
Фракция летучей золы M4+M5+M6	18,0	10,8	12,4	118	180	80	165	—	—	2,5	6		
Та же после гашения 2% водой	—	—	—	106	187	25	150	—	—	1,5	6		

Летучая зола. Котел № 4 Коктла-Ярвской ТЭЦ при нагрузке котла 50 т/час. Система питания. Зола из котельной топки вместе с дымовыми газами ( $t_a=220^\circ$ ). Режим опытов.  $Q=1,35 \text{ м}^3/\text{сек}$ ;  $v=37 \text{ г/н.м}^3$ . Вяжущее. Зола, размолотая в лабораторной шаровой мельнице (3,0 кг золы, 20 кг шаров в течение 2 часов). (Продолжение на стр. 41)

были найдены в более ранних исследованиях [1, 2]. Наиболее характерные результаты настоящих опытов приведены в таблице 3. Для лучшей характеристики связи между физико-химическими и вяжущими свойствами фракций мелкая фракция в таблице разделена на 2 части.

Из данных, приведенных в таблице 3, выясняется, что несмотря на большое относительное количество (55,4%) мелкой фракции, полученной в данном опыте, ее качество как вяжущего было, по сравнению с несепарированной золой, значительно выше. Так, активность вяжущего, изготовленного из мелкой фракции, была в 1,7÷1,9 раза выше, чем активность вяжущего из несепарированной золы. Благодаря большей скорости твердения мелкой фракции различие в показателях прочности в более ранних возрастах между ними еще больше. Прочность на сжатие кукуермитного раствора, изготовленного из мелкой фракции в возрасте 14 дней, была в 2,2÷2,6 раза выше прочности на сжатие раствора кукуермита, изготовленного из циклонной золы.

Большие преимущества мелкой фракции особенно заметны при твердении раствора в воде. Если образцы раствора кукуермита, изготовленные из несепарированной золы при помещении их в воду в возрасте 5 и 7 дней разваливались, то образцы, изготовленные из мелкой фракции и помещенные в воду в таком же возрасте, оказались водостойкими и их прочность на сжатие в возрасте 28 дней равнялась соответственно 45—50% и 80—90% от прочности на сжатие образцов, содержавшихся во влажном воздухе.

Увеличение объема раствора из мелкой фракции по данным, приведенным в таблице 3, в среднем в два раза меньше и продолжается более короткое время, чем у несепарированной золы.

В технологии изготовления сланцезольных вяжущих в качестве средства для улучшения и уравнивания качества нашло всеобщее признание гашение золы перед помолом. Для оценки влияния гашения золы на вяжущие свойства

---

(Продолжение таблицы 3)

Образцы. Из пластичного раствора 1:3 (вяжущее: вольский песок), размер 4×4×4 см.

Примечание: Количество воды для гашения выбрано по оптимальным, установленным опытами.

\*) отмечены образцы, давшие трещины.

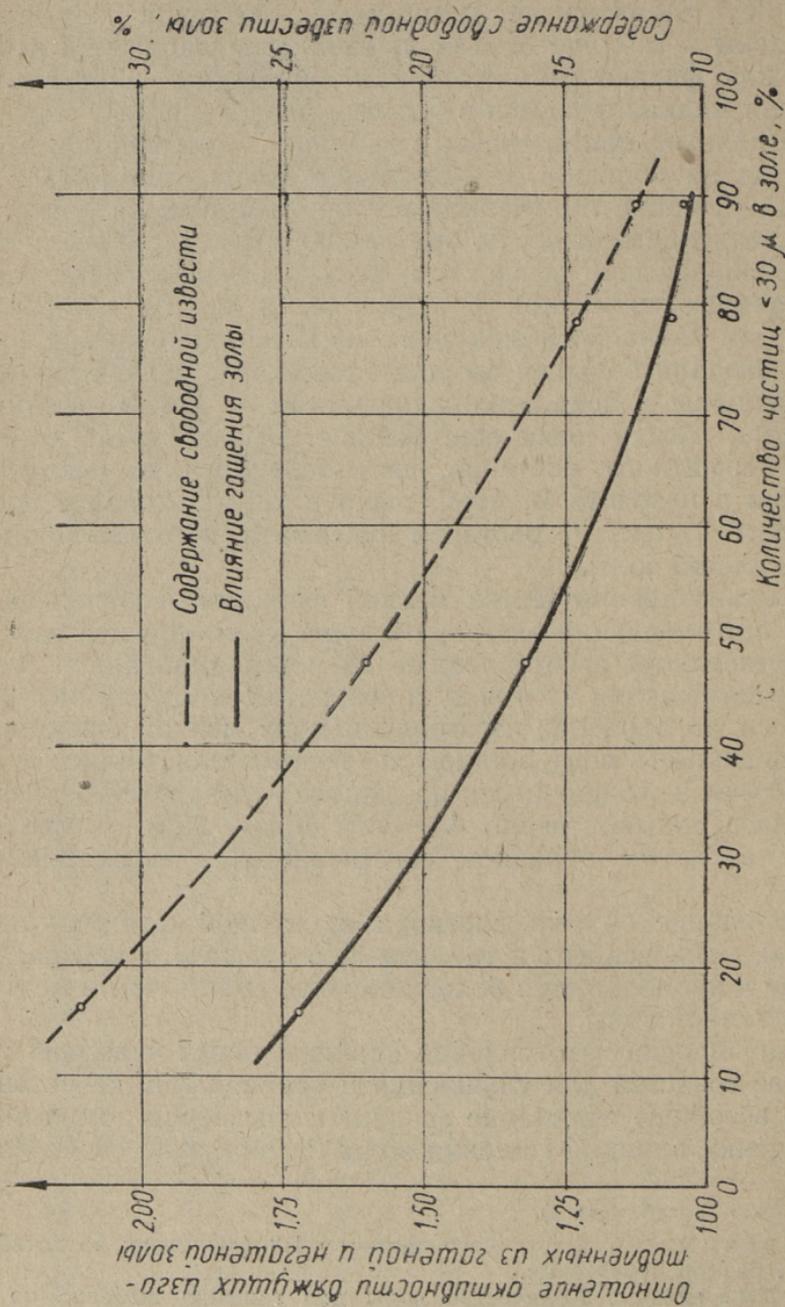


Рис. 8. Влияние гашения золы на активность вяжущего в зависимости от зернового состава золы и содержания свободной извести.

фракций, полученных при воздушной сепарации, были проведены параллельные опыты с гашеными фракциями золы. Из опытных данных, приведенных в таблице 3, видно, что в случае крупной фракции и несепарированной золы, когда содержание свободной извести высоко, гашение в значительной степени улучшает вяжущие свойства золы. В случае мелкой фракции положительное влияние гашения ничтожно. Больше выявляется здесь понижение скорости твердения вяжущего, сопровождающее гашение и это, в особенности, в наиболее мелкой части мелкой фракции. Если в случае более крупнозернистых фракций золы гашение значительно уменьшает увеличение объема изготовленного из них раствора кукуермита, то влияние гашения в этом отношении на мелкую фракцию относительно меньше.

Рисунок 8 наглядно показывает влияние гашения золы на активность вяжущего в зависимости от мелкозернистости золы и содержания свободной извести. Можно сказать, что чем мелкозернистее зола и чем меньше она содержит свободной извести, тем меньше эффект активизации вяжущего, вызываемый гашением.

Из вышеприведенного следует, что при производстве сланцезольных вяжущих на базе мелкой фракции можно отказаться от операции гашения золы, не опасаясь в результате этого снижения качества вяжущего. Путем такого упрощения технологии себестоимость вяжущего, производимого с 20% добавкой цементного клинкера, снижается примерно на 9%.

### Выводы

1. Полупромышленные опыты сепарации летучей золы горючих сланцев показали, что наиболее вредное влияние на эффективность процесса сепарации оказывает взаимное слипание частиц золы. Уже мимолетное взаимное соприкосновение частиц золы в рассыпчатом состоянии вызывает слипание частиц золы в таком объеме, что снижает эффективность сепарации на 4—5%. Содержание золы в уплотненном состоянии, образовавшемся под влиянием собственного веса или вибрации, может уменьшить сепарируемость золы даже до 15%.

2. Эффективность процесса сепарации зависит также от концентрации золы в среде транспортируемой золы и

с повышением концентрации с 37 до 800 г/м<sup>3</sup> уменьшается примерно на 10%.

3. С технической и экономической точек зрения наиболее рациональным следует считать осуществление сепарирования золы непосредственно в золоуловительных установках котлоагрегата. В этом случае можно избежать опасности слипания частиц золы и концентрация золы низка (30—70 г/м<sup>3</sup>).

4. Удовлетворительные условия для сепарации циклонной золы могут быть созданы и при пневматическом транспорте золы, если осуществлять его непосредственно после выделения золы из дымовых газов и если концентрация при сепарировании не превышает 700 г/м<sup>3</sup>.

5. При благоприятных условиях сепарации количество ценной мелкой фракции составляет 40—50% от всей сепарируемой золы.

6. Отделение в процессе сепарации более крупных частиц золы (размер зерен больше 30μ) целесообразнее всего осуществлять при помощи инерционных камерных сепараторов, применяя их в случае необходимости в виде двухступенчатых.

7. Золоуловитель-мультициклон может быть с успехом использован в качестве сепаратора. Кроме того мультициклон, изготовленный из элементов БЦ-250, в случае пневматического транспорта циклонной золы ( $R_{30} \geq 50\%$ ) обеспечивает достаточно высокую степень улавливания золы ( $\eta = 95—98\%$ ).

8. Вяжущее, получаемое из мелкой фракции, превосходит по всем показателям качества вяжущего, изготовленного из несепарированной циклонной золы, обладая при этом в два раза более высокой активностью. Ввиду низкого содержания свободной извести (ниже 13%) при изготовлении вяжущего из мелкой фракции можно отказаться от гашения золы. В результате этого упрощается в значительной степени технология производства и снижается себестоимость изделий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Когерманн Э. Э. Улучшение вяжущих свойств пылевидной сланцевой золы при помощи воздушной сепарации. Сборник трудов по изучению золы сланца-кукерсита I, Таллин, 1959.
2. Когерманн Э. Э. О воздушной сепарации летучей золы пылевидного сланца в мультициклоне. Сборник трудов по изучению золы сланца-кукерсита I, Таллин, 1959.

3. Соболев В. И. Воздушная сепарация и воздушная классификация. Труды Московского Дома ученых. Сборник статей «Сепарирование сыпучих тел», 1937.

4. Кирпичев Е. Ф. Новые типы батарейных циклонов. «Цемент» № 3, 1950.

5. Оборудование для производства строительных материалов. Машгиз, 1959.

6. Успенский В. А. Пневматический транспорт материалов во взвешенном состоянии. Metallurgizdat, 1952.

7. Ньютон Г. В. и Ньютон В. Г. Исследование эффективности классификации. Труды Московского Дома ученых. Сборник статей «Сепарирование сыпучих тел», 1937.

8. Гюренков Н. Г. Единый метод оценки эффективности обогащительных процессов. Metallurgizdat, 1952.

*В. Х. Кикас, Т. А. Лаур*

## **О ТЕХНОЛОГИИ И СВОЙСТВАХ КУКЕРМИТОВОГО ГАЗОБЕТОНА, ИЗГОТОВЛЕННОГО ИЗ ФРАКЦИЙ ЦИКЛОННОЙ ЗОЛЫ**

Из года в год все большее значение в балансе стеновых материалов приобретают ячеистые бетоны.

Производство ячеистых бетонов в нашей республике осуществляется преимущественно на базе зол пылевидного сжигания сланцев. На заводе строительных материалов Ахтме по проектной мощности предполагается производить 120 000 м<sup>3</sup> ячеистых бетонов в год и на проектируемом Прибалтийском комбинате строительных материалов 370 000 м<sup>3</sup> в год.

Лабораторные и полупромышленные исследования показали, что воздушное сепарирование циклонной золы сланца-кукерсита на мелкую и крупную фракции дает возможность рационально использовать сланцевую циклонную золу для производства различных строительных материалов. Из мелкой фракции можно изготавливать сильное гидравлическое цементоподобное вяжущее. Богатая свободной известью крупная фракция может быть успешно использована для производства кукермитовых газо- и пенобетонов.

Мелкая и крупная фракции циклонной золы будут использоваться на Ахтмеском заводе строительных материалов и Прибалтийском комбинате строительных материалов соответственно для изготовления вяжущего марки «300» и ячеистых бетонов.

В лаборатории строительных материалов Таллинского политехнического института с 1957 года ведутся исследовательские работы в области изучения технологии изготовления и свойств кукермитового газобетона, получаемого на базе фракции циклонной золы сланца. Ниже дается обзор проделанной работы.

# 1. Материалы, использованные для изготовления кукермитового газобетона

1. Фракции золы, использованные для изготовления вяжущего, были получены путем воздушной сепарации циклонной золы на полупромышленной установке. Сепарационная установка работала на котельном агрегате № 4 Кохтла-Ярвеской теплоэлектростанции. Установка была трехступенчатой. Первая и вторая ступень состояли из поточных сепараторов с различными размерами, в качестве третьей ступени использовался мультициклон (подробнее об этом в соответствующей статье Э. Когерманна «Результаты исследования воздушной сепарации летучей золы на полупромышленной опытной установке»).

При сепарировании циклонной золы были получены:

- 1) крупная фракция (фракции, полученные из двух поточных сепараторов) и
- 2) мелкая фракция (из мультициклона).

Для сравнения исследовалась также циклонная зола котла № 4.

Данные о циклонной золе и свойствах ее фракций приведены в таблице 1.

Таблица 1

## Физико-химические показатели циклонной золы и ее фракций

№№ п/п	Вид золы	Отн. кол., в %	Крупность зерна				Удельная поверхность, в см <sup>2</sup> /г	Удельный вес, в г/см <sup>3</sup>	Объемный вес, в г/см <sup>3</sup>	СаОсв, в %
			90 μ	60— 90 μ	30— 60 μ	< 30 μ				
			Содержание частиц в %							
1.	Циклонная зола	—	14,8	8,8	21,9	54,5	1600	2,73	1120	22,2
2.	Крупная фракция циклон. золы	47	35,5	14,8	29,4	20,3	680	2,80	1080	30,7
3.	Мелкая фракция циклон. золы	53	2,3	2,3	13,4	82,0	2030	2,67	1000	14,9

Физико-механические свойства вяжущих используемых для изготовления кукермитового газобетона приведены в таблице 2.

Таблица 2

**Физико-механические свойства вяжущих полученных на базе циклонной золы и ее фракций**

№№ п/п	Показатель	Циклонная зола молотая	Крупная фракция		Мелкая фракция молотая
			молотая	гашеная и молотая	
1.	Удельный вес $г/см^3$	2,95	3,00	2,65	2,80
2.	Объемный вес $кг/м^3$	1000	1100	1000	1000
3.	Удельная поверхность $см^2/г$	3500	2000	4800	4000
4.	Сроки схватывания: начало час/мин. конец час/мин.	0.10	0.05	0.40	0.30
		0.20	0.07	2.15	3.00
5.	Прочность на сжатие пластичного раствора $кг/см^2$ при твердении во влажной среде в возрасте	7 дн.	7,3	8,4	23
		28 дн.	10,7 79	36	91

2. В качестве наполнителя использовался кварцевый песок карьера Мяннику. Физические показатели песка были следующими:

1. Удельный вес  $2,64 г/см^3$
2. Объемный вес  $1640 кг/м^3$
3. Количество пустот 38%
4. Модуль крупности 2,9.

3. В качестве газообразователя использовался алюминиевый порошок ПАК-3.

## II. О подготовке материалов

### а) Вяжущее наполнитель

В производстве кукермитового газобетона размол золы и наполнителя-песка может осуществляться отдельно или вместе. Исследования показали, что процесс размола оказывает большое влияние на свойства изделий, и в особенности в случае использования крупной фракции циклонной золы. Если прочность на сжатие кукермитового газобетона, изготовленного из циклонной золы, подверг-

нутой размолу совместно с песком, существенно не отличается от прочности на сжатие кукуермитового газобетона, изготовленного из раздельно размолотых материалов, то в случае крупной фракции совместный размол материалов оказывает на прочность при сжатии бетона значительное влияние (см. таблица 3).

Таблица 3

**Зависимость прочности на сжатие кукуермитового газобетона, изготовленного из крупной фракции, от способа размола сухих материалов**

Соотношение смеси	Материалы размолотые								R совм.  R раздельн.
	совместно				раздельно				
	Показатели кукуермитового газобетона								
	Объемный вес, в кг/см <sup>3</sup>	Прочность на сжатие, в кг/см <sup>2</sup> в сухом виде			Объемный вес, в кг/см <sup>3</sup>	Прочность на сжатие, в кг/см <sup>2</sup> в сухом виде			
		Факт.	редуциров.*)			Факт.	редуциров.*)		
отд.	средн.		отд.	средн.					
1:0,5	745	71	86	89	645	38	75	71	1,25
	780	85	91						
	835	103	91						
1:1	765	80	90	84	665	39	72	68	1,24
	805	89	87						
	860	98	76						

\* Было выведено соотношение между прочностью на сжатие и объемным весом кукуермитового газобетона. Таким образом прочности на сжатие кукуермитовых газобетонов с различными объемными весами можно привести к прочности на сжатие бетона, имеющего равный объемный вес 800 кг/м<sup>3</sup>

$$R_{800} = R_x - a \left( \frac{\gamma_{0 \cdot x}}{800} \right)^2 (\gamma_{0 \cdot x} - 800), \text{ где}$$

$R_x$  — прочность на сжатие кукуермитового газобетона при заданном объемном весе,

$\gamma_{0 \cdot x}$  — заданный объемный вес кукуермитового газобетона,

$a$  — коэффициент.

Если  $\gamma_{0 \cdot x} \geq 700$  кг/м<sup>3</sup>, то  $a = 0,32$ ;

Если  $\gamma_{0 \cdot x} = 700-500$  кг/м<sup>3</sup>, то  $a = 0,32 - 0,50$ .

В случае промежуточных значений  $a$  находится путем линейной интерполяции.

Как видно из данных, приведенных в таблице 3, совместный размол исходных веществ повышает прочность на сжатие кукуермитового газобетона в среднем в 1,25 раза. Повышение прочности на сжатие объясняется тем, что тонкость материала, подвергаемого размолу вместе с песком, увеличивается (удельная поверхность 3500—4000  $см^2/г$ ), так как не происходит интенсивного налипания материала к агрегату размола. При отдельном размолу происходит настолько интенсивное налипание вяжущего, что тонкость материала примерно в 2 раза меньше (удельная поверхность 2000  $см^2/г$ ). Налипшие частицы вяжущего при перемешивании в мешалке плохо смешиваются с песком, в результате чего смесь газобетона не гомогенна.

При совместном размолу сырья достигается хорошее измельчение и высокая гомогенность материала, в результате чего для получения бетона с одинаковым объемным весом расходуется на 15—30% алюминиевого порошка меньше, чем в случае отдельного размола материалов. Результаты исследований показали, что при совместном размолу материалов морозостойкость кукуермитового газобетона увеличивается более чем в 3 раза. Следовательно, при производстве кукуермитового газобетона из крупной фракции необходимо непременно осуществлять совместный размол золы и песка.

Совершенно самостоятельным вопросом является предварительное гашение золы. Как показали исследования, крупную фракцию следует предварительно гасить 5—7% количеством воды непосредственно, или осуществлять совместный размол с влажным песком. Этим достигается улучшение структуры кукуермитового газобетона и экономия в расходовании алюминиевого порошка, достигающая до 30%.

#### **б) Предварительная обработка алюминиевого порошка**

При использовании в качестве газообразователя алюминиевого порошка его необходимо освободить от парафина путем прокаливания при температуре 180—200°C. Непрокаленный алюминиевый порошок не образует с водой суспензии, что затрудняет введение его в смесь. Прокаливание алюминиевого порошка влияет на вспучивание

кукермитового газобетона, его структуру, объемный вес и прочность на сжатие. Путем прокаливания достигается уменьшение расхода алюминиевого порошка в 2 раза, прочность на сжатие повышается примерно в 1,3 раза, что объясняется достижением однородности структуры.

### III. О технологии изготовления

#### а) Соотношение воды и сухого вещества

При изготовлении кукермитового газобетона и в особенности применении форм, имеющих большие размеры, имеет существенное значение соотношение воды и сухого вещества. Количеством воды в смеси можно регулировать время схватывания массы кукермитового газобетона.

Таблица 4

Влияние соотношения воды и сухого вещества на свойства кукермитового газобетона

Используемые материалы	Соотношение воды и сухого вещества	Консистенция, в см	Объемный вес сухой, в кг/см <sup>3</sup>	Прочность на сжатие, в кг/см <sup>2</sup>	
				Факт.	Редукцир-ованны
Циклонная зола, размолотая вместе с песком 1:0,6, количество алюминия 0,045% от сухого вещества	0,42	19,2	815	103	98
	0,40	16,8	850	117	99
	0,38	14,8	855	112	92
	0,36	13,0	910	137	91
Крупная фракция, размолотая вместе с песком 1:1, количество алюминия 0,05% от сухого вещества	0,50	19,0	725	86	106
	0,48	16,2	735	85	103
	0,44	14,5	785	86	91
	0,42	11,9	790	92	95
	0,40	10,0	810	93	90

\* Консистенция определялась при помощи кольца для определения сроков схватывания цемента, имеющего форму усеченного конуса, который заполняется смесью и затем поднимается. Диаметр образовавшейся лепешки в см характеризует численное значение консистенции.

Оно должно быть согласовано с продолжительностью выделения газа. В случае слишком жесткой смеси схватывание массы из-за гидратации содержащейся в золе свободной извести начинается слишком рано, в результате чего тормозится вспучивание. В случае слишком жидкой массы вспучивающаяся масса газобетона не может поддерживать собственный вес и происходит ее опадение.

Лабораторными исследованиями установлено влияние соотношения воды и сухого вещества на консистенцию кукермитового газобетона, его объемный вес и прочность на сжатие (таблица 4).

Как видно из данных, приведенных в таблице 4, кукермитовый газобетон не особенно чувствителен к относительному количеству воды в смеси. При этом следует учитывать небольшие размеры форм (7×7×7), которые влияют на результаты опытов (сопротивление боковин форм, потери тепла).

С уменьшением соотношения воды и сухого вещества в смеси объемный вес и прочность на сжатие увеличиваются. Прочности на сжатие, приведенные к объемному весу  $800 \text{ кг/м}^3$ , в противоположность этому — уменьшаются. Таким образом, при производстве кукермитового газобетона следует стремиться к возможно большему соотношению воды и сухого вещества. Это повышает относительную прочность на сжатие и дает возможность экономить при производстве изделий с одинаковым объемным весом алюминиевый порошок.

#### **б) Время перемешивания кукермитовой газобетонной смеси**

Перемешивание газобетонной смеси должно продолжаться до получения достаточно однородной смеси. Продолжительность перемешивания перед добавлением алюминиевого порошка равна 2—3 минутам и после добавления алюминиевого порошка еще 1 минуте (I).

При изготовлении кукермитового газобетона из крупной фракции, в результате гидратации большого количества активной свободной извести, содержащейся в золе, температура смеси кукермитового газобетона может повышаться и твердение произойдет слишком быстро. В результате этого вспучивание массы будет затруднено и из-за высокой температуры смеси на поверхности массы появятся трещины. Путем увеличения продолжитель-

ности перемешивания кукермитового газобетона можно регулировать процесс схватывания-вспучивания массы.

Исследован вопрос о предварительном гашении размолотой крупной фракции в виде шлама.

Пробы кукермитового газобетона были изготовлены из смеси, которая подвергалась перемешиванию продолжительностью от 3 минут до 1,5 часов.

В таблице 5 приведены опытные данные о предварительном гашении крупной фракции в виде шлама. Соотношение в смеси в данном опыте было 1:1 и количество алюминиевого порошка 0,06% от сухого вещества.

Таблица 5

**Зависимость свойств кукермитового газобетона от времени предварительного гашения крупной фракции в виде шлама**

№№ п/п	Продолжит. перемешивания, в ч/мин	Соотноше- ние воды к сыхому ве- ществу	Объем- ный вес сухой, в кг/м <sup>3</sup>	Прочность на сжатие, в кг/см <sup>2</sup>	
				фактическ.	редуциро- ванный
1	0.03	0,41	890	90	54
2	0.15	0,47	745	55	70
3	0.30	0,49	705	51	74
4	0.45	0,49	690	59	86
5	1.00	0,49	685	70	98
6	1.30	0,52	670	66	98

Как видно из данных, приведенных в таблице 5, с увеличением продолжительности перемешивания объемный вес кукермитового газобетона уменьшается. С одной стороны уменьшению объемного веса способствует большое соотношение воды к сухому веществу, с другой стороны с увеличением продолжительности перемешивания происходит более интенсивное гашение свободной извести, в результате чего масса газобетона становится более вязкой, вспучивание более равномерным и спокойным.

С увеличением продолжительности перемешивания относительная прочность на сжатие кукермитового газобетона возрастает примерно в 1,8 раза. В связи с незначительным количеством шлама (~ 20 литров) происходит его интенсивное остывание, но несмотря на это, после 45-минутного перемешивания температура повышается от +40°C до +73°C.

Рассмотренную технологическую операцию можно бы-

ло бы использовать в производстве кукермитового газобетона для регулирования времени схватывания массы газобетона.

**а) Предварительное твердение массы кукермитового газобетона перед автоклавной обработкой**

После вспучивания и предварительного твердения массы кукермитового газобетона горбушка срезается и в случае необходимости масса разрезается на мелкие блоки.

Существенно влияет на время предварительного твердения массы кукермитового газобетона скорость гидратации свободной извести, содержащейся в золе.

Опытным путем была установлена продолжительность предварительного твердения массы кукермитового газобетона, после чего масса могла разрезаться и подвергаться автоклавной обработке. Автоклавная обработка образцов,  $20 \times 20 \times 20$  см проводилась без форм, причем продолжительность предварительного твердения была 2, 4, 6 и 8 часов.

Спуск боковин форм и разрезание образцов кукермитового газобетона, изготовленного из крупной фракции (соотношение в смеси 1:1) может производиться уже через 2 часа, а в случае циклонной золы (соотношение в смеси 1:1) только лишь через 8 часов после формовки, если масса газобетона содержалась при  $+20^{\circ} - 25^{\circ}\text{C}$ .

В случае крупных блоков это время, естественно, уменьшается, так как потери тепла меньше, температура смеси в результате этого выше и смесь твердеет быстрее. Например, если температура газобетонной смеси, изготовленной из крупной фракции, поднялась в формах размером  $20 \times 20 \times 20$  см до  $+57^{\circ}\text{C}$ , то в формах размером  $100 \times 80 \times 30$  см температура поднялась на  $35^{\circ}\text{C}$  выше, т. е. до  $+92^{\circ}\text{C}$ .

Образцы кукермитового газобетона, изготовленного из циклонной золы, были освобождены от форм после 6 и 8-часового предварительного твердения, причем в первый раз произошло опадение массы на несколько миллиметров. Освобождение из формы образцов кукермитового газобетона, изготовленного на базе крупной фракции, было проведено после 2, 4, 6 и 8-часового предварительного твердения.

После автоклавной обработки без форм при 10 атм в течение 3+8+6 часов был произведен внешний осмотр

образцов. При этом выяснилось, что образцы газобетона, изготовленные на базе крупной фракции циклонной золы, уже после двухчасового предварительного твердения выносили без появления каких-либо дефектов автоклавную обработку. В противоположность этому образцы газобетона из циклонной золы после автоклавной обработки сильно растрескивались.

Результаты исследований показывают, что в предварительном пропаривании кукермитового газобетона, изготовленного на базе крупной фракции, нет необходимости, так как гашение свободной извести в крупной фракции во время предварительного твердения кукермитового газобетона происходит в такой степени, что при их автоклавной обработке трещин не образуется.

В более точном исследовании нуждается вопрос автоклавной обработки изделий без форм, что позволило бы упростить технологический процесс.

#### **IV. Физико-механические свойства кукермитового газобетона**

##### **а) Структура**

Структура кукермитового газобетона зависит от используемых материалов и их предварительной обработки.

Значительное влияние на структуру кукермитового газобетона оказывает предварительная обработка алюминиевого порошка. При применении депарафинизованного алюминиевого порошка структура значительно равномернее.

Улучшение структуры достигается также путем легкого предварительного гашения золы, так как процесс вспучивания происходит тогда спокойнее.

Размер пор кукермитового газобетона, изготовленного из слегка гашеной крупной фракции, равен при объемном весе  $800 \text{ кг/м}^3$  —  $0,5$ — $0,8 \text{ мм}$ ; при уменьшении объемного веса до  $500 \text{ кг/м}^3$  поры увеличиваются до  $1$ — $2 \text{ мм}$ .

##### **б) Прочность на сжатие**

Прочность на сжатие кукермитового газобетона находится в прямой зависимости от объемного веса.

Прочности на сжатие кукермитового газобетона, изготовленного из крупной фракции при соотношениях в. сме-

**Зависимость прочности на сжатие кукуермитового газобетона от объемного веса**

Объемный вес газобетона, в $\text{кг/м}^3$	Прочность на сжатие сухого газобетона, в $\text{кг/см}^2$
500	25—35
600	35—55
700	50—80
800	70—110
900	100—155

си 1:0,8 — 1:1,2, приведены в таблице 6 (количество опытов по каждому объемному весу  $\sim 60$ ).

Режим автоклавной обработки: 5+8+6 часов при 10 атм.

Размер образцов  $7 \times 7 \times 7$  см.

Приведенные прочности на сжатие получены тогда, когда кукуермитовый газобетон изготовлялся из крупной фракции и песка, подвергнутых совместному размолу.

С увеличением содержания влаги прочность на сжатие кукуермитового газобетона понижается, составляя при 20% влажности примерно 65% от прочности на сжатие в сухом состоянии.

Последующее твердение кукуермитового газобетона наблюдалось до одного года. При хранении в сухой среде (относительная влажность воздуха 50—60% и температура  $+ 20^\circ\text{C}$ ) содержание влаги кукуермитового газобетона понижается до 5—6% и прочность на сжатие увеличивается в 1,3 раза. При хранении во влажной среде содержание влаги повышается до 40% и прочность на сжатие увеличивается в 1,7 раза (в пересчете на прочность при сжатии сухого газобетона).

**в) Содержание влаги**

В соответствии с техническими условиями изделия из газобетона могут выпускаться с завода при содержании в них не больше 15%—18% влаги. Таким образом, снижение содержания влаги имеет значение для ускорения производственного процесса. Содержание влаги в кукуермитовом газобетоне, изготовленном из смесей с различ-

Таблица 7

**Зависимость влажного кукермитового газобетона от соотношения золы и песка (образцы 7×7×7 см)**

Вяжущее	Содержание влаги в % при соотношениях смеси		
	1:0 — 1:0,6	1:0,8 — 1:1,2	1:1,5 — 1:2,5
Циклонная зола размолотая . . . . .	18,9	16,5	15,3*
Крупная фракция гашеная и размолотая . . . . .	21,6	17,0	16,2

\* Примечание. При использовании циклонной золы максимальное соотношение смеси 1:1,5.

ными соотношениями после автоклавной обработки, приведены в таблице 7.

Опытные данные, приведенные в таблице 7, показывают, что содержание влаги в кукермитовом газобетоне уменьшается с увеличением соотношения смеси и в связи с этим уменьшением соотношения воды и сухого вещества.

С увеличением размеров образцов кукермитового газобетона увеличивается и содержание влаги (таблица 8).

Таблица 8

**Зависимость содержания влаги в кукермитовом газобетоне от размеров образцов**

Размеры образцов, в см	Содержание влаги, в %
7×7×7	18,1
10×10×10	21,7
15×15×15	22,0
80×100×20	25,2

Таким образом, при изготовлении крупных блоков необходимо учитывать достаточно высокое содержание начальной влаги.

#### г) Морозостойкость

Морозостойкость имеет особое значение тогда, когда кукермитовый газобетон применяется во внешних ограждениях зданий.

Большое влияние на морозостойкость кукермитового газобетона оказывает предварительная обработка материалов.

Морозостойкость увеличивается, если зола подвергается совместному размолу с влажным песком. Относительные прочности на сжатие после 10 циклов замораживания кукермитового газобетона, изготовленного из циклонной золы, размолотой вместе с сухим и влажным песком при соотношении смеси 1:1, равны соответственно 90 и 94% от первоначальной прочности на сжатие. Относительные прочности на сжатие кукермитового газобетона, изготовленного из крупной фракции, равны 80, 79, 86 и 91%, если содержание влаги в песке равно соответственно 0,1, 2 и 4%.

Существенное значение имеет совместный размол золы и песка. Кукермитовый газобетон, который был изготовлен из отдельно размолотых крупной фракции и песка, обладает после 5 циклов замораживания только 65% своей первоначальной прочности на сжатие. Одновременно кукермитовый газобетон, изготовленный из крупной фракции, подвергнутой совместному размолу с песком, приобретает после 5 циклов 94% от своей первоначальной прочности на сжатие. Из вышеприведенного ясно значение совместного размолы золы с песком.

Кукермитовый газобетон, изготовленный на базе циклонной золы и крупной фракции, выдерживает 20 циклов, после чего их относительные прочности равны соответственно 76 и 75% от первоначальной прочности.

Кукермитовый газобетон, изготовленный из мелкой фракции, выдерживает 25 циклов, после чего относительная прочность на сжатие становится равной 82% от первоначальной прочности.

## Выводы

1. На базе крупной фракции циклонной золы можно осуществлять производство кукермитового газобетона значительно проще, чем на базе циклонной золы. При использовании крупной фракции масса газобетона быстрее твердеет, что позволяет резать изделия гораздо раньше, чем в случае циклонной золы.

2. При производстве кукермитового газобетона крупная фракция и заполнитель должны подвергаться совме-

стному размолу до крупности, равной в среднем 3 000 см<sup>2</sup>/г. Совместный размол необходим для достижения гомогенности и лучшего измельчения материалов. Вследствие этого прочность на сжатие кукермитового газобетона повышается примерно на 25%, морозостойкость — в 3 раза.

3. Прочность на сжатие кукермитового газобетона, изготовленного на базе размолотой крупной фракции, значительно увеличивается, если производить предварительное гашение крупной фракции в виде шлама; после перемешивания крупной фракции в течение 1,5 часов в виде шлама достигается увеличение прочности на сжатие кукермитового газобетона в 1,5 раза и уменьшение объемного веса на 25—30%.

4. Для твердения массы кукермитового газобетона целесообразно использовать тепло, образующееся при гидратации свободной извести, содержащейся в золе, что повышает температуру массы. Кроме того, при гидратации свободной извести связывается часть воды, содержащейся в массе кукермитового газобетона, что в значительной степени способствует твердению массы кукермитового газобетона.

Крупная фракция содержит примерно в 1,5 раза больше свободной извести, чем циклонная зола; кроме того, свободная известь крупной фракции более активна, в результате чего масса кукермитового газобетона, изготовленная на базе крупной фракции, твердеет примерно в 3 раза быстрее, чем масса кукермитового газобетона, изготовленная таким же способом из циклонной золы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Технические условия на изготовление сборных изделий из автоклавных ячеистых бетонов. Москва, 1959.

## О ПРЕДВАРИТЕЛЬНОМ ГАШЕНИИ ЗОЛЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ КУКЕРМИТОВОГО ГАЗОБЕТОНА

Лабораторные и полупромышленные опыты показали, что при производстве кукермитового газобетона на базе крупной фракции циклонной золы, последнюю следует подвергать легкому предварительному гашению.

Крупная фракция содержит примерно 30% легко гасящейся свободной извести.

При изготовлении смеси кукермитового газобетона из негашеной крупной фракции температура смеси в крупном блоке повышается из-за гашения свободной извести примерно до  $+100^{\circ}\text{C}$ . Этому сопутствует интенсивное испарение воды и растрескивание газобетонной массы.

Для поддержания умеренной температуры необходимо проводить легкое предварительное гашение крупной фракции.

Предварительное гашение можно осуществлять следующими способами:

1) крупную фракцию можно гасить в силосе перед совместным размолем с песком. В этом случае песок, используемый для совместного размола, должен быть сухим.

2) предварительное гашение проводится при совместном размолем с влажным песком. Если природной влажности песка недостаточно, необходимо для получения нужного количества воды для гашения песок дополнительно увлажнять.

При совместном размолем крупной фракции с влажным песком степень гашения свободной извести меньше в связи с более низкой температурой смеси.

3) предварительное гашение осуществляется путем увеличения продолжительности перемешивания смеси кукермитового газобетона. Более подробно об этом — в

статье настоящего сборника «О технологии и свойствах кукурмитового газобетона, изготовленного из фракций циклонной золы».

При лабораторных исследованиях предварительное гашение зол осуществлялось при нормальном давлении и температуре среды  $+100^{\circ}\text{C}$  в течение 30 минут.

При изготовлении кукурмитового газобетона из отдельно размолотой крупной фракции и песка для установления оптимального количества воды, необходимой для гашения — крупная фракция гасилась 2, 6, 8, 10, 12, 14, 16 и 20% количеством воды от веса фракции.

Как видно из опытных данных (рис. 1), с увеличением количества воды для гашения крупной фракции объемный вес кукурмитового газобетона уменьшается и прочность на сжатие увеличивается. Повышение прочности на сжатие в переводе на объемный вес  $800 \text{ кг/м}^3$  достигает 1,8 раз. Повышение прочности на сжатие происходит до ко-

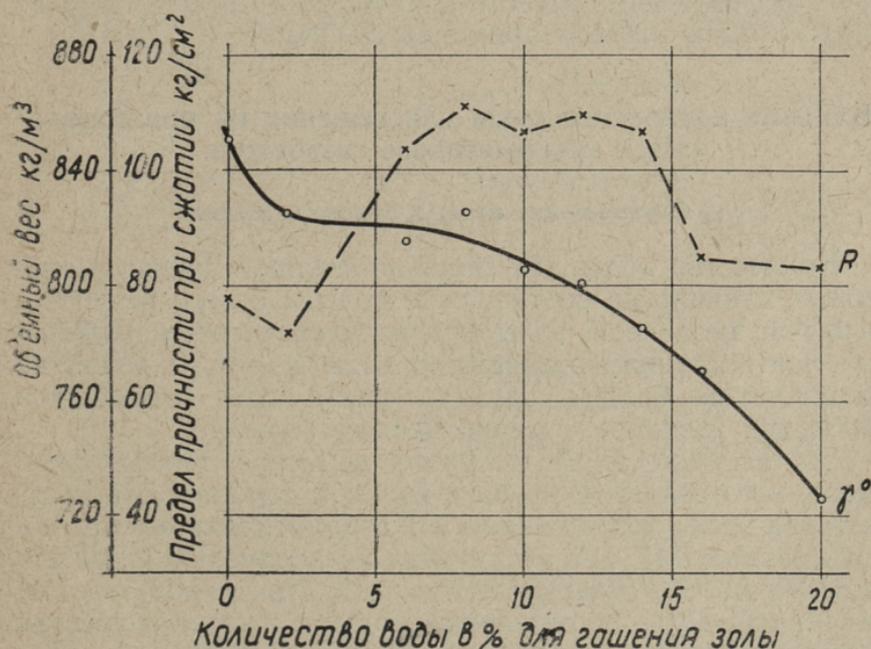


Рис. 1. Зависимость объемного веса и предела прочности при сжатии кукурмитового газобетона от количества воды для гашения золы при раздельном размоле крупной фракции и песка.

личества воды на гашение, равного 12—14%. Это, примерно, соответствует теоретически необходимому количеству воды для гашения свободной извести, содержащейся в крупной фракции.

Увеличение прочности на сжатие обусловлено, в первую очередь, повышением тонкости помола материала (удельная поверхность увеличивается с 2000  $см^2/г$  до 5000  $см^2/г$ ). Кроме того, кукермитовый газобетон, изготовленный на базе гашеной золы, имеет хорошую структуру.

Совместный размол золы и песка для лабораторных опытов осуществлялся в лабораторной шаровой мельнице, для полупромышленных опытов — в вибромельнице М 200.

В промышленном производстве необходимо проводить только частичное гашение свободной извести, содержащейся в крупной фракции, чтобы происходило своевременное схватывание массы. Поэтому количество воды для гашения должно быть примерно на 20—40% меньше теоретически необходимого, т. е. при содержании в золе 25—28% свободной извести количество воды для гашения должно быть равным примерно 5—7%.

## **Влияние количества воды для гашения на показатели смеси кукермитового газобетона**

### **а) Соотношение воды и сухого вещества**

Количество воды для гашения крупной фракции оказывает влияние на соотношение воды и сухого вещества. В случае негашеной золы для получения смеси одинаковой консистенции соотношение воды и сухого вещества должно быть больше, так как часть воды связывается свободной известью, содержащейся в золе.

Соотношение воды и сухого вещества газобетонной смеси, изготовленной на базе крупной фракции при соотношении зола: песок равном 1:1 и применении негашеной золы равном 0,47, при увеличении же количества воды для гашения до 6% понижается до 0,38. При использовании циклонной золы соотношение воды и сухого вещества равно соответственно 0,40 и 0,35.

Влияние гашения крупной фракции на прочность на сжатие кукермитового газобетона при совместном размолу золы с песком меньше, чем в случае отдельного раз-

мола компонентов, так как при совместном размолу с песком измельчение крупной фракции более эффективно.

### б) Температура газобетонной смеси

Как известно, большая часть свободной извести, содержащейся в золе, должна быть во избежание растрескивания погашена перед автоклавной обработкой массы

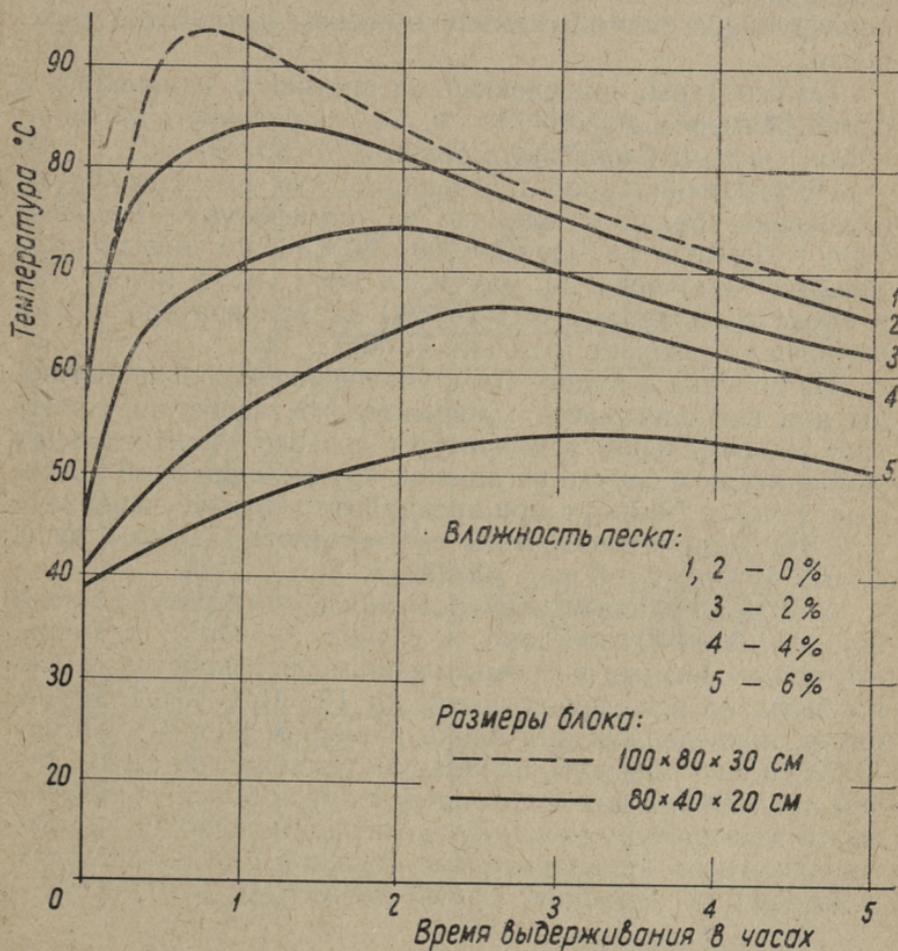


Рис. 2. Кривые температуры в блоке кукурузного газобетона. Газобетон изготовлен из крупной фракции, подвергнутой совместному размолу с песком с различной влажностью.

Соотношение смеси 1:1.

Начальная температура воды смеси +50°C.

кукермитового газобетона. Для форсирования гашения свободной извести рекомендуется, чтобы температура кукермитового газобетона во время предварительной выдержки была по возможности высокой — в пределах  $+80^{\circ}\text{C}$ .

На рисунке 2 приведено изменение температуры в период предварительного твердения массы кукермитового газобетона для случаев, когда крупная фракция, применявшаяся для изготовления кукермитового газобетона, подвергалась размолу вместе с песком различной влажности.

Температуры, приведенные на рисунке 2, измерялись в блоке размером  $80 \times 40 \times 20$  см, за исключением пробы 1, когда размеры блока были равны  $100 \times 80 \times 30$  см.

Из сравнения проб 1 и 2 видно, что размеры блока оказывают большое влияние на температуру. Температура в блоке с размерами  $100 \times 80 \times 30$  см повышается меньше, чем через 30 минут до  $90^{\circ}\text{C}$ , в то время как в блоке с размерами  $80 \times 40 \times 20$  см температура за это же время повышается только до  $80^{\circ}\text{C}$ .

Из рисунка 2 видно, что с увеличением количества воды для гашения масса кукермитового газобетона достигает максимальной температуры позднее. Максимальная температура в случае негашеной крупной фракции достигается через 70 минут, при предварительном же гашении 2, 4 и 6% количествами воды соответственно через 2 часа, 2 часа 40 минут и 3 часа 20 минут.

Учитывая влияние размеров блока, температура массы кукермитового газобетона в случае блоков с размерами, применяемыми в промышленном производстве, должна быть, по всей вероятности, на  $10-15^{\circ}\text{C}$  выше температур, приведенных для блока размером  $80 \times 40 \times 20$  см.

Если еще повысить начальную температуру смеси, путем применения для изготовления смеси более теплой воды, то температуру массы кукермитового газобетона, изготовленного из предварительно гашеной 6% количеством воды крупной фракции, можно довести до  $+70-80^{\circ}\text{C}$ .

### в) Степень вспучивания

Степень вспучивания смеси кукермитового газобетона показывает, во сколько раз увеличивается объем смеси после выделения газа по сравнению с начальным

объемом. По степени вспучивания можно определить необходимую высоту заливки смеси в формы, а также примерный объемный вес кукермитового газобетона. На рисунке 3 приведены изменения степеней вспучивания смеси кукермитового газобетона, когда кукермитовый газобетон изготовлен из крупной фракции, подвергнутой размолу вместе с песком различной влажности при соотношении в смеси зола : песок равном 1 : 1. Начальная темпе-

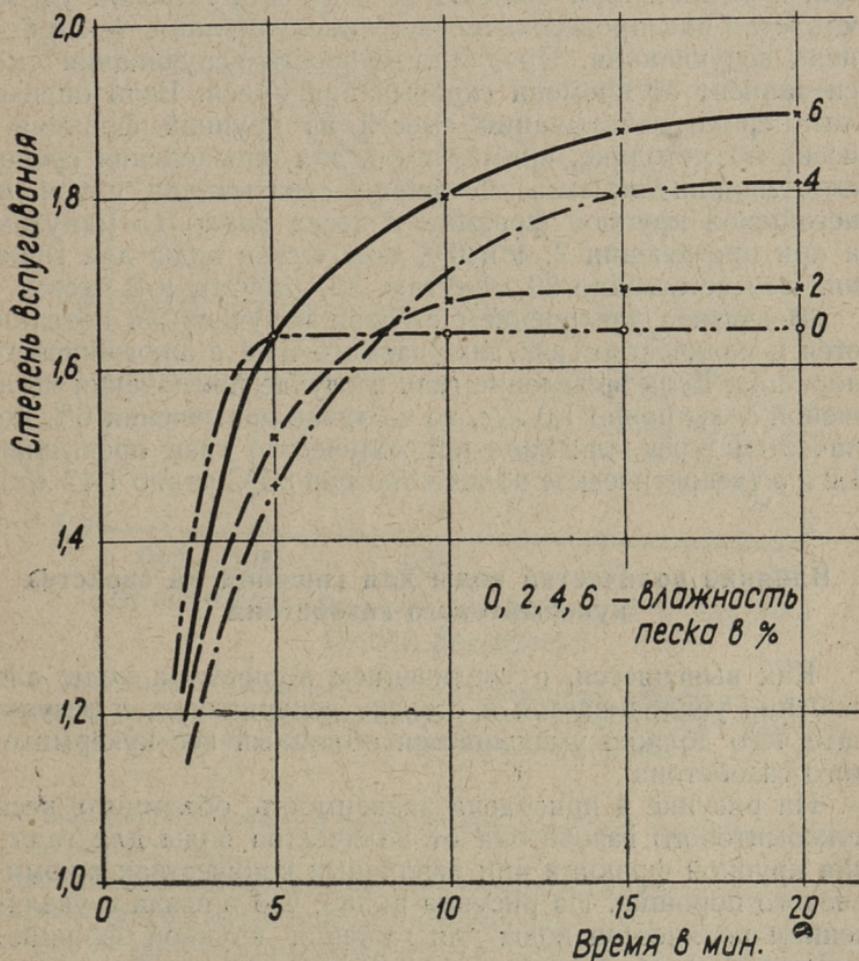


Рис. 3. Зависимость степени вспучивания газобетонной смеси, изготовленной из крупной фракции, подвергнутой совместному размолу с песком, от содержания влаги в песке.  
Соотношение смеси 1:1.

ратура воды для смеси была  $+50^{\circ}\text{C}$ . Степень вспучивания определялась в цилиндрическом сосуде диаметром 10 см и высотой 25 см. Начальная высота смеси была 10 см.

Из рисунка 3 видно, что с увеличением количества воды для гашения степень вспучивания увеличивается. Вспучивание смеси кукурмитового газобетона, изготовленного из негашеной крупной фракции, продолжается только 5 минут. При использовании гашеной крупной фракции с увеличением количества воды для гашения увеличивается как продолжительность вспучивания, так и степень вспучивания. Продолжительность вспучивания смеси зависит от времени схватывания смеси. Если определять сроки схватывания смесей из крупной фракции и песка по методике, применяемой для определения сроков схватывания цемента, то начало схватывания смеси из негашеной крупной фракции и песка равно 15 минутам, а при применении 2, 4 и 6% количества воды для гашения соответственно 20 минутам, 35 минутам и 2 часам.

В связи с увеличением степени вспучивания повышается и количество газа, получаемого из 1 г алюминиевого порошка. Если выделение газа в случае применения негашеной золы равно 1,0 л/г, то в случае применения 6% количества воды для гашения количество газа превышает 1,2 л/г (теоретическое количество при  $50^{\circ}\text{C}$  равно 1,47 л/г).

### **Влияние количества воды для гашения на свойства кукурмитового газобетона**

Как выясняется, с увеличением количества воды для гашения увеличивается и степень вспучивания, в результате чего должен уменьшаться объемный вес кукурмитового газобетона.

На рисунке 4 приведена зависимость объемного веса кукурмитового газобетона от количества воды для гашения крупной фракции при различных количествах алюминиевого порошка. Из рисунка видно, что в связи с увеличением количества воды для гашения крупной фракции уменьшается объемный вес кукурмитового газобетона.

Однако неуклонное уменьшение объемного веса происходит не всегда. Например, при переходе от маленьких форм к большим выделение газа из массы газобетона и

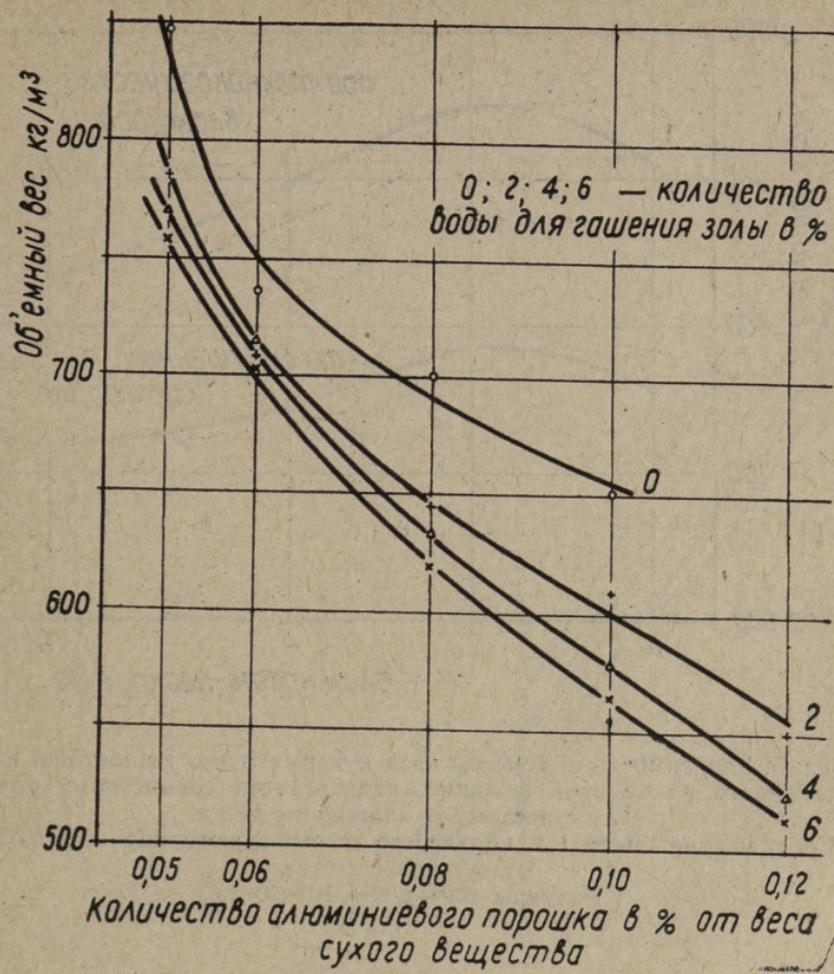


Рис. 4 Зависимость объемного веса кукуермитового газобетона, изготовленного из крупной фракции, подвергнутой совместному размолу с песком, от количества алюминиевого порошка.

схватывание ускоряются из-за более высокой температуры массы газобетона.

На рисунке 5 приведена зависимость объемного веса кукуермитового газобетона от количества воды для гашения для блоков с размерами 80×40×20 см. Из рисунка 5 видно, что при применении песка с содержанием в нем 2% влаги объемный вес кукуермитового газобетона слегка увеличивается, а при дальнейшем увеличении содержания влаги — уменьшается. Это вызывается тем, что при предварительном гашении 2% воды температура массы

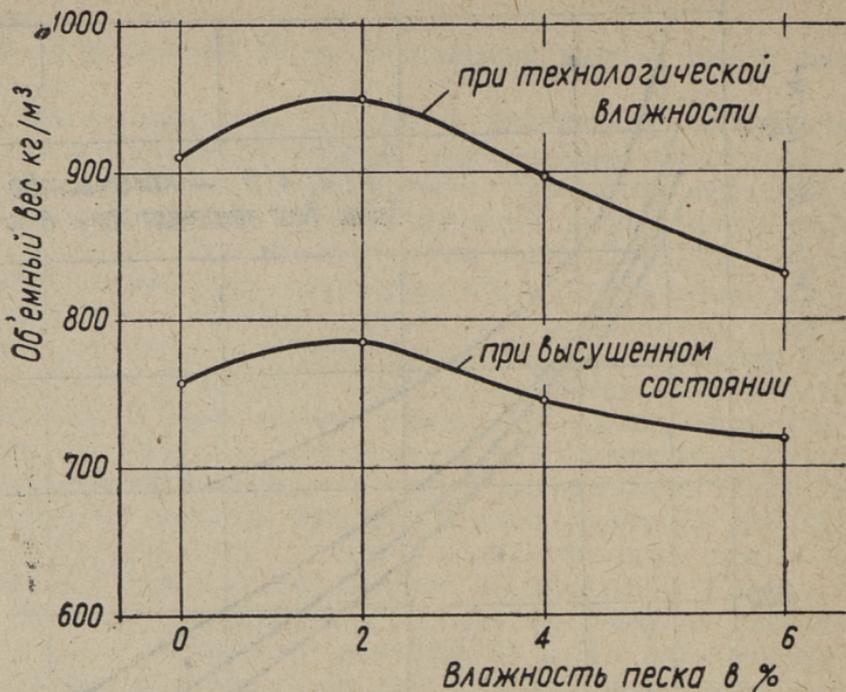


Рис. 5. Зависимость объемного веса кукурмитового газобетона, изготовленного из крупной фракции, подвергнутой совместному размолу с песком, от влажности песка.

Соотношение смеси 1:1, количество алюминиевого порошка 0,05% от сухого вещества.

Размеры блока 80×40×20 см.

кукурмитового газобетона остается значительно более низкой, чем в случае крупной фракции, не подвергнутой предварительному гашению (см. рисунок 2). В то же время схватывание массы наступает быстрее, чем прекращается выделение газа. В случае предварительного гашения крупной фракции большим количеством воды схватывание массы происходит позднее, в результате чего, несмотря на более низкую температуру массы, получаемый кукурмитовый газобетон имеет меньший объемный вес.

Путем предварительного гашения крупной фракции достигается повышение прочности на сжатие. На рисунке 6 приведены данные лабораторных исследований о зависимости прочности на сжатие кукурмитового газобетона от степени предварительного гашения крупной фракции.

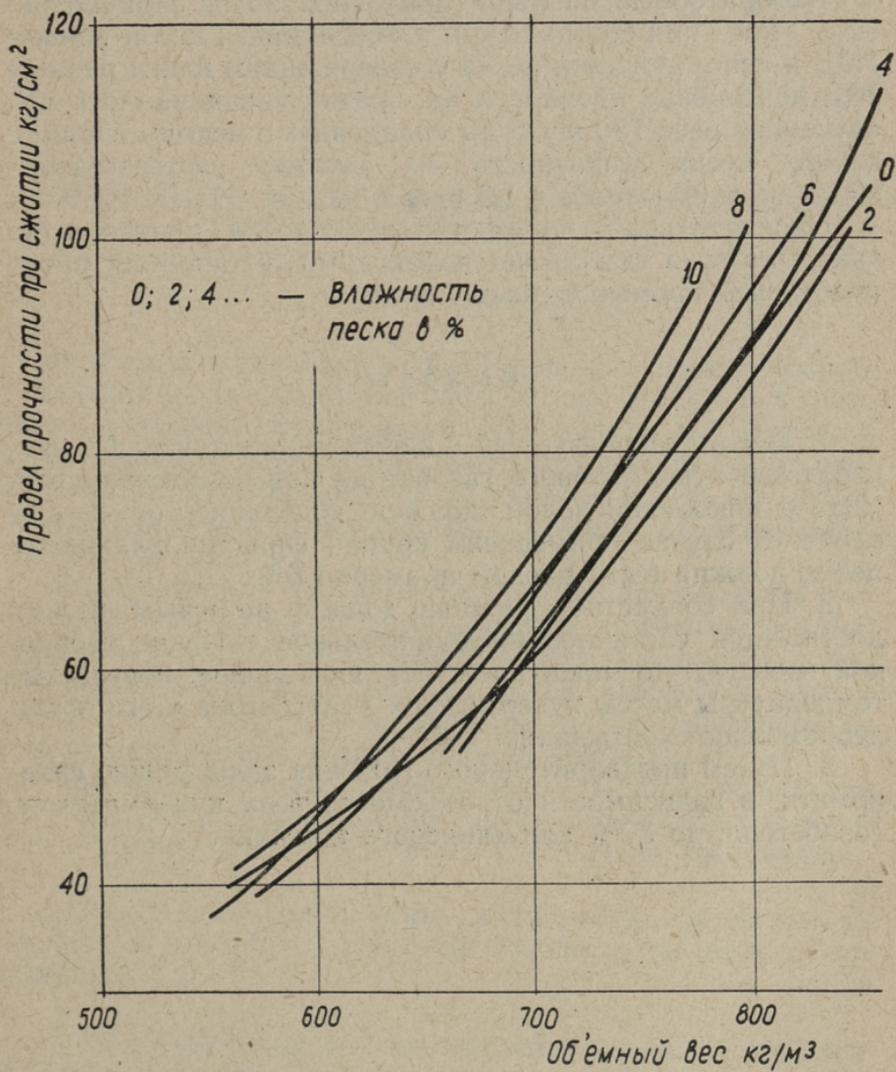


Рис. 6. Влияние влажности песка при совместном размоле с крупной фракцией на объемный вес и прочность на сжатие кукурмитового газобетона. Соотношение смеси 1:1. Образцы:  $7 \times 7 \times 7$  см. Режим автоклавной обработки 10 атм., 5+8+6 часов.

Из приведенного видно, что в случае более тщательного предварительного гашения прочность на сжатие кукуермитового газобетона повышается и, в особенности, при больших объемных весах.

Лабораторные опыты с циклонной золой Прибалтийской ГРЭС при соотношении в смеси зола : песок равном 1:0,6 и использовании песка с содержанием влаги равным 4%, повышение прочности на сжатие увеличивалось при объемном весе  $750 \text{ кг/м}^3$  по сравнению с использованием сухого песка (прочность на сжатие соответственно  $60 \text{ кг/см}$  и  $90 \text{ кг/см}^2$ ) в 1,5 раза.

Окончательные параметры технологии производства кукуермитового газобетона необходимо установить путем проведения промышленных опытов.

### Выводы

1. Песок, используемый в качестве наполнителя в производстве кукуермитового газобетона при совместном размоле с циклонной золой должен содержать от 2—4% влаги. В случае применения крупной фракции влажность песка должна быть равной примерно 6%.

2. При совместном размоле золы с влажным песком достигается частичное предварительное гашение свободной извести, что предупреждает чрезмерное повышение температуры массы кукуермитового газобетона и его преждевременное схватывание.

3. Путем предварительного гашения золы можно сэкономить, в зависимости от объемного веса кукуермитового газобетона, до 30% алюминиевого порошка.

## ПРОЧНОСТЬ И ТВЕРДОСТЬ КУКЕРМИТОВОГО ГАЗОБЕТОНА

### 1. Общие основания

В связи с постройкой в ЭССР завода стеновых блоков и панелей из кукермитового газобетона в ТПИ в 1959 г. были проведены исследовательские работы по разработке методов для определения прочности блоков без их разрушения. В качестве одного из косвенных методов исследовали связь между прочностью и твердостью кукермитового газобетона.

Было известно, что метод испытания на твердость для определения прочности легких бетонов применяется в ФР Германии, где для этого используются два прибора: маятниковый копер и пружинный копер. Прочность бетона определяется посредством диаметра лунки, нанесенной на поверхность бетона ударом шарика копра [1, 2].

При исследовании применимости метода испытания на твердость для определения прочности строительных деталей установили прежде всего следующие требования:

1. испытание должно дать какой-нибудь объективный численный показатель, который связан с прочностью материала;

2. приборы должны быть прочными, т. е. их характеристика не должна изменяться при работе;

3. приборы должны быть легко проверяемые и тарируемые;

4. проведение испытания должно быть просто и не требовать особо квалифицированного исполнителя.

## 2. Приборы

Соответственно вышеприведенным требованиям сконструированы два прибора: ручной прибор и маятниковый копёр.

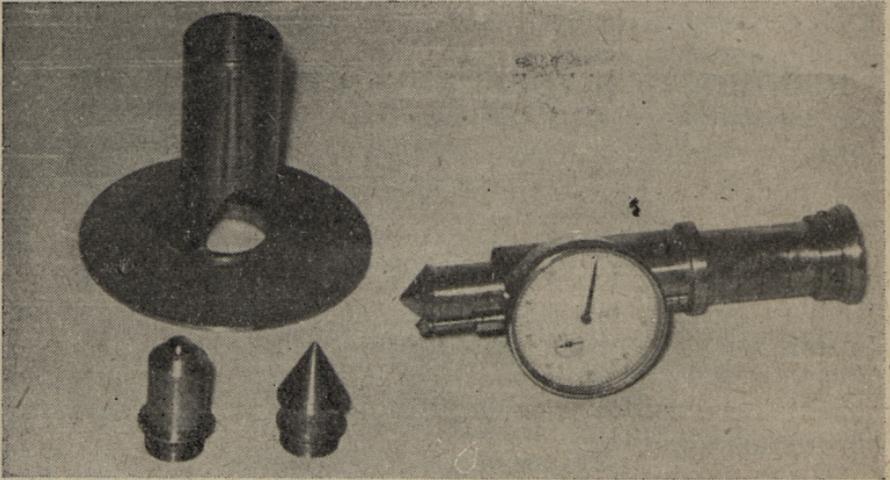


Рис. 1.

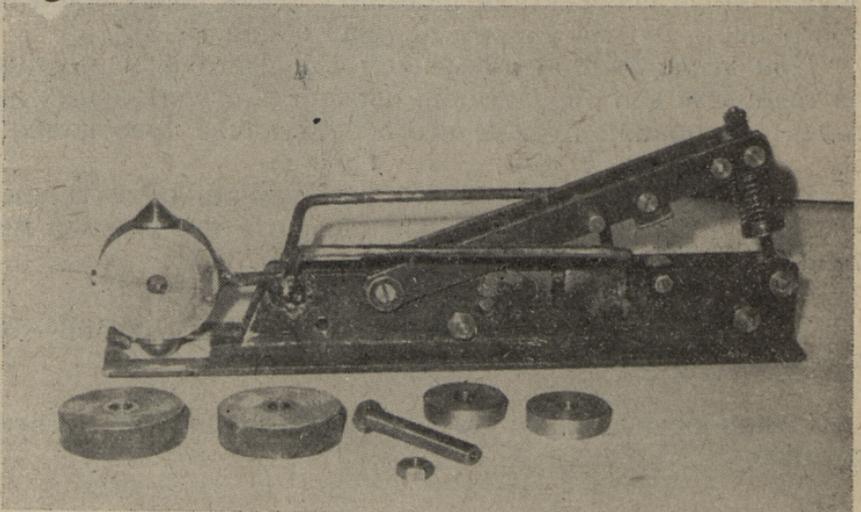


Рис. 2.

Ручной прибор (рис. 1) состоит из двух трубок, входящих друг в друга. К концу одной трубки прикреплен шарик или конус, которые оставляют лунки на поверхности материала. Сила статического сжатия (20 кг) измеряется деформацией пружины, которая находится в другой трубке. Для повышения стабильности прибора при испытании, прибор положен в трубку с диском опирания.

Маятниковый копер, производящий лунку ударом, состоит из маятникового копра длиной 25 см и рамки. Для исследования влияния величины энергии удара и для определения более подходящей энергии, при испытании использовали кинетические энергии 15, 20 и 30 ккал/см, что достигалось установлением дополнительного груза (рис. 2).

Для нанесения лунок на поверхность образцов использовали:

- 1) стальные конусы с углом вершины  $53^\circ$  и  $90^\circ$  (ручной прибор обозначен — КК и маятниковый копер — РК);
- 2) стальные шарики (ручной прибор с шариком  $D = 10$  мм — К 10, маятниковый копер с шариком  $D = 20$  мм — Р 20).

### 3. Образцы

Образцами служили кубы  $20 \times 20 \times 20$  см<sup>3</sup> и блоки  $40 \times 120 \times 80$  см<sup>3</sup> из автоклавного кукуермита, изготовленные Институтом строительства и строительных материалов АН ЭССР. Нужно отметить, что материал образцов был неоднороден. Так твердость (прочность) верхней части куба была часто только 0,5 прочности нижней части (относительно литья). У больших блоков, которые были отлиты в горизонтальных формах, прочность верхнего слоя (слой С) была в среднем 0,8 прочности нижнего слоя (слой А)\*.

### 4. Проведение испытаний

При испытании кубов каждым прибором делали 10 лунок, равномерно распределенных на боковых гранях. Удар маятниковым копром проводили, как правило, на вертикальной поверхности, причем из-за малого веса ку-

---

\* Подробные данные о материале приведены в настоящем сборнике в статье Х. Ремма и О. Вахелайд.

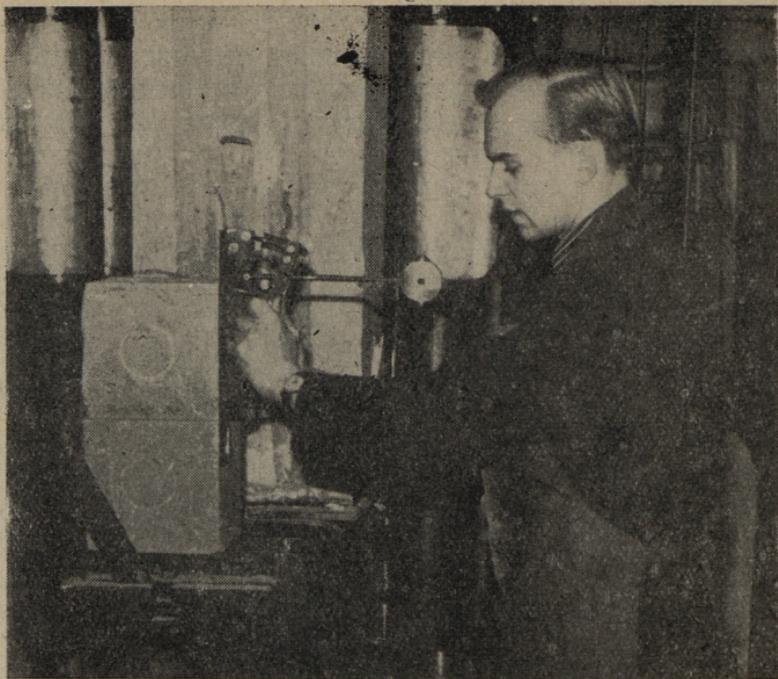


Рис. 3.

бов для их закрепления использовали соответственные опоры (рис. 3).

При испытании больших блоков делали в 5-ти точках по 2 лунки на нижней (А) и верхней (С) грани.

Так как внешняя поверхность образцов была, в общем, гладкая, то особенной подготовки поверхности не производили.

Диаметр лунки измерялся с точностью до 0,1 мм лупой 10-ти кратного увеличения, длиной шкалы 15 мм.

### 5. Переработка результатов испытаний

При испытании на твердость, в качестве показателя твердости материала использовали диаметр лунки. Связь между твердостью материала и прочностью образца выражалась в виде

$$\bar{R} = a \cdot d^b, \quad (1)$$

где

$\bar{R}$  — вычисляемая прочность образца в  $кг/см^2$ ,  
 $d$  — средний диаметр лунок в  $мм$ ,  
 $a$  и  $b$  — константы, рассчитанные при помощи метода наименьших квадратов, взятые из результатов испытаний.  
 Для определения расхождения результатов испытания вычислялся коэффициент изменчивости

$$v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(R_i - \bar{R}) : \bar{R}]^2}{n-1}} \quad (2)$$

где

$n$  — число испытаний.

Коэффициентом  $v$  вычисляли вероятное максимальное

**Таблица результатов испытаний**  
 (Обозначения см. (1) — (4) )

Прибор	$n$	$a$	$b$	$v$ (%)	$\kappa$	$v_{\text{п}}$ (%)	$P_{\text{п}}$ (%)
1	2	3	4	5	6	7	8
1. Кубы $20 \times 20 \times 20$ $см^3$							
КК	36	267	-1,317	13	0,61		
РК-15 (53°)	30	1215	-2,051	17	0,49		
РК-15	30	2965	-2,158	16	0,52		
Р 20-15	30	76030	-3,261	11	0,67		
2. Блоки $40 \times 120 \times 80$ $см^3$							
КК	22	106	-0,972	16	0,51	11,2	3,8
РК-15	10	997	-1,855	5	0,84	4,7	1,5
РК-20	10	1277	-1,886	8	0,76	4,9	1,6
РК-30	10	2056	-2,005	9	0,74	4,3	1,4
Р 20-15	10	24360	-2,956	9	0,74	4,2	1,3
Р 20-30	10	44110	-3,031	11	0,67	3,3	1,1
Р 20-20	10	426000	-4,085	11	0,67	3,1	1,0
3. Высверленные цилиндры $\varnothing 50$ $мм$							
КК	20	171	-1,086	11	0,67		
РК-15	12	412	-1,146	8	0,75		
Р 20-15	12	4341	-2,005	11	0,68		

Примечание: Результаты испытания больших блоков даны для нижней грани (А), исключая прибор Р 20-20, где результаты даны для среднего граней А и С.

отклонение  $3v$  и соответствующий коэффициент однородности

$$k = 1 - 3v, \quad (3)$$

причем действительная прочность образца (детали)

$$R \geq k \bar{R}. \quad (4)$$

Для определения необходимого числа лунок при испытании вычисляли также их показатель точности,\*

$$P_d = v_d: \sqrt{10}, \quad (5)$$

где  $v_d$  — коэффициент изменчивости диаметров 10-ти лунок.

Численные величины этих показателей даны в предыдущей таблице, для кубов на рис. 4—6 и для блоков на рис. 7—9.

\* Эту величину можно принимать только ориентировочно, т. к. прочность материала и на одной грани была неодинаковой. Испытания высверленных цилиндров на сжатие дали соответственные величины для прочности цилиндров  $v = 10,6\%$  и  $P = 5,0\%$ . (см. статью Х. Ремма и О. Вахелайд в настоящем сборнике).

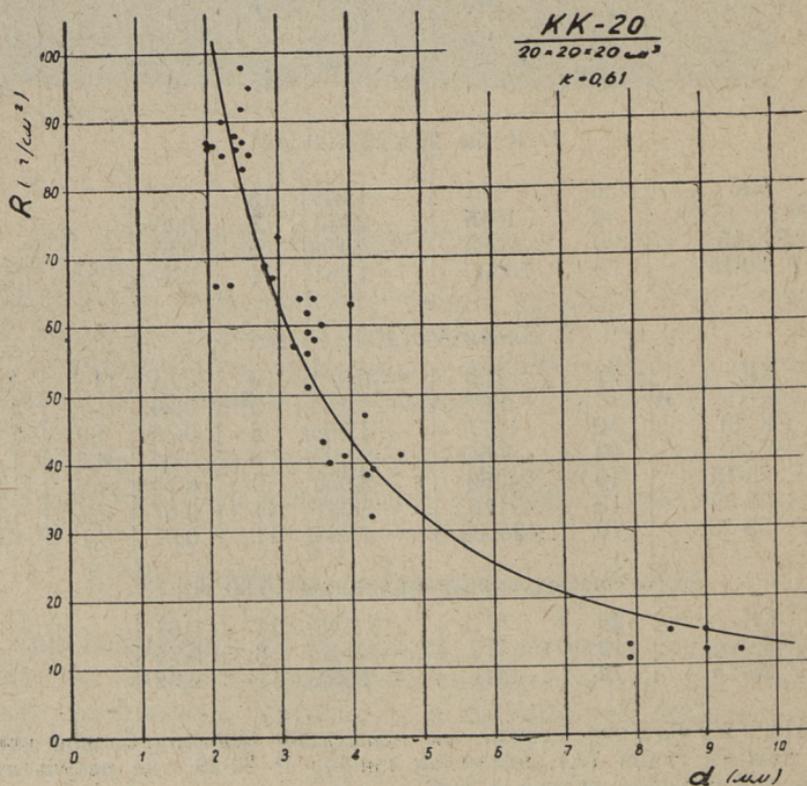


Рис. 4.

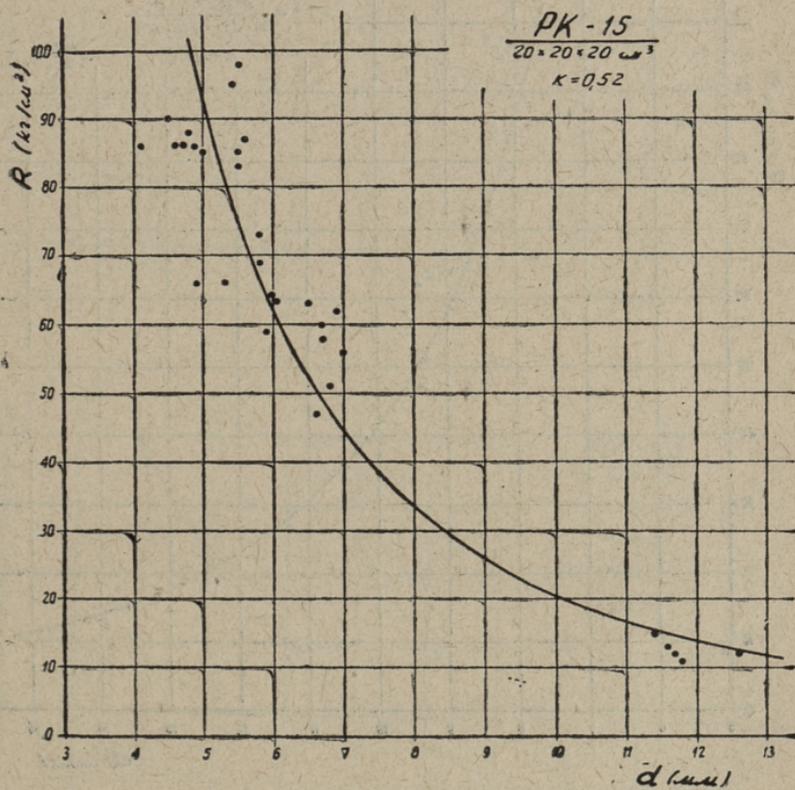


Рис. 5.

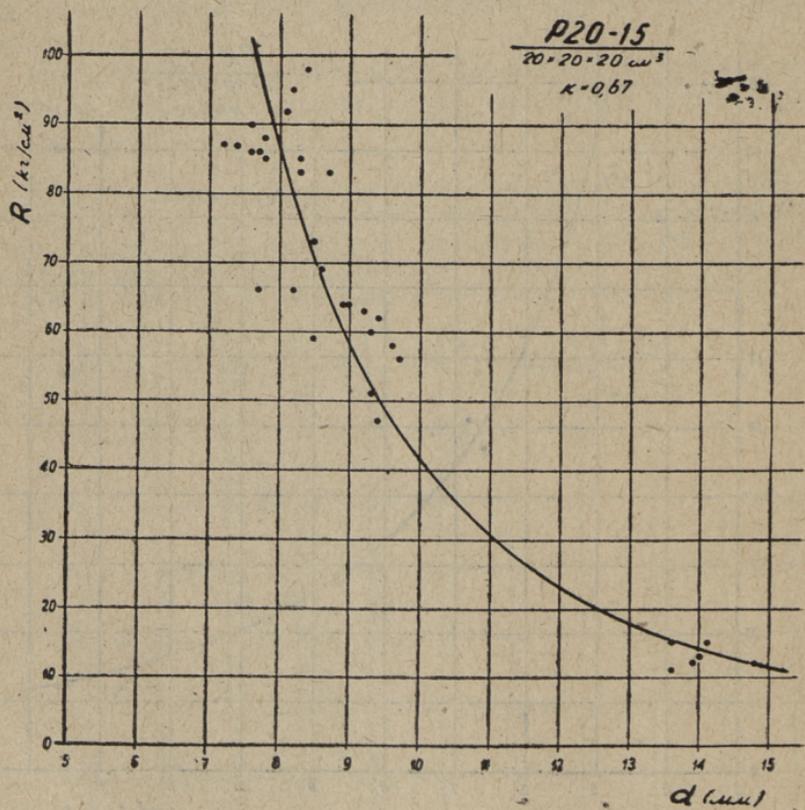


Рис. 6.

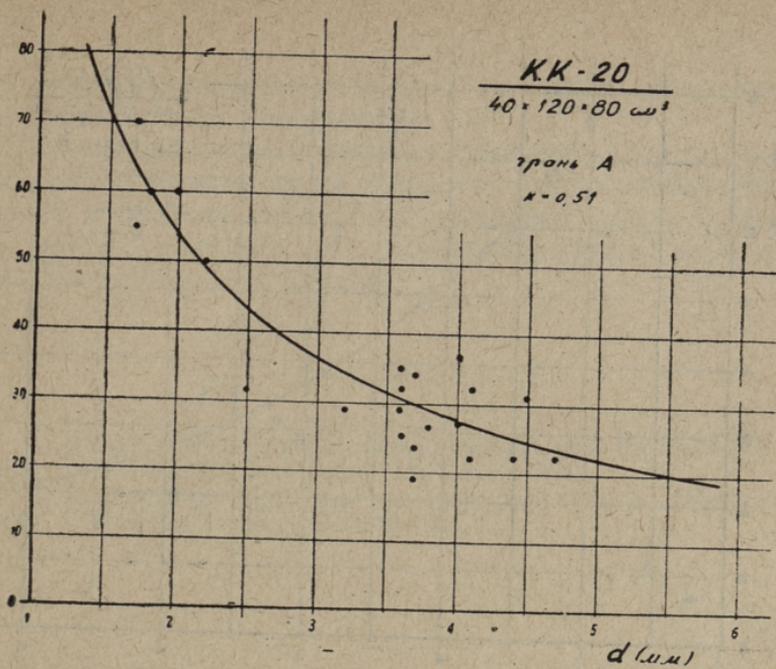


Рис. 7.

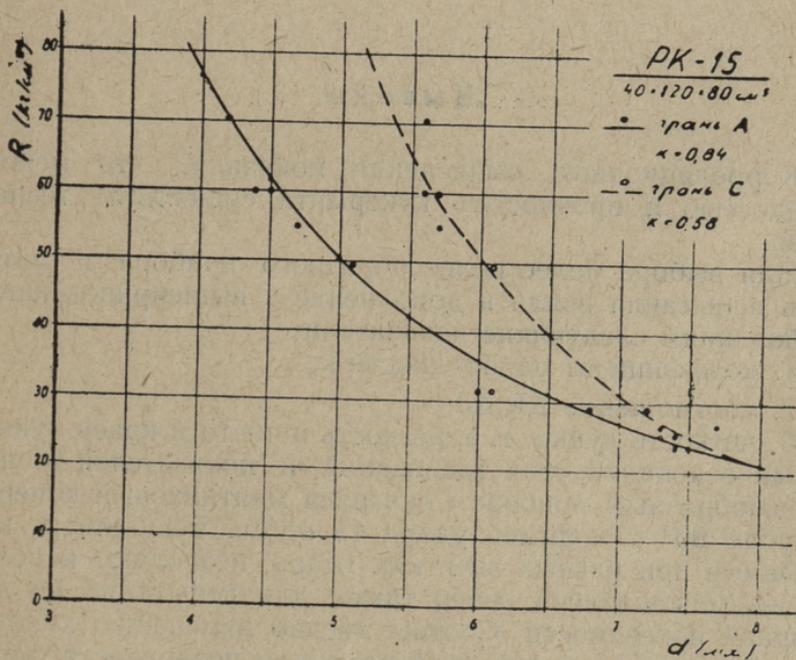


Рис. 8.

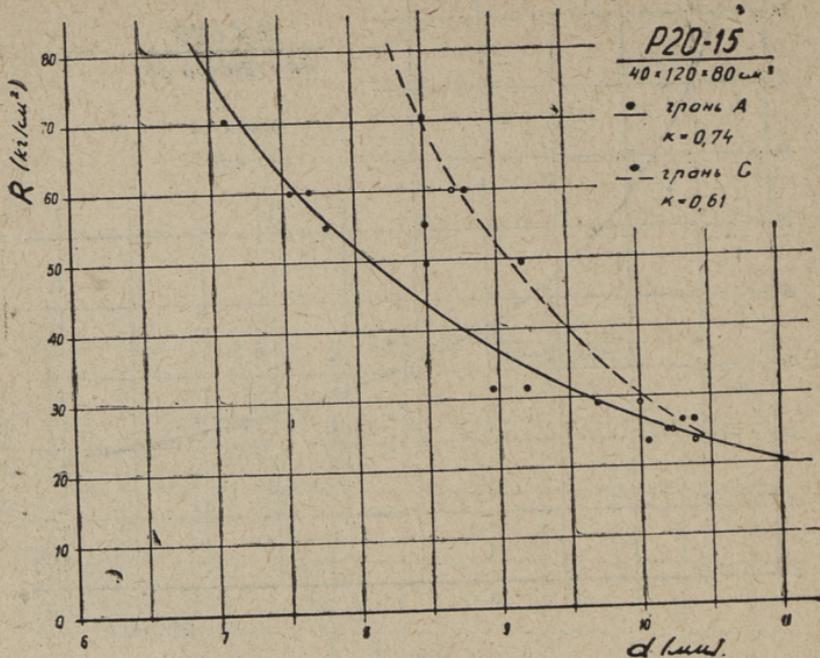


Рис. 9.

### Выводы

Корреляционные вычисления показали, что между твердостью и прочностью кукуермита существует тесная связь.

Для выбора более целесообразного прибора и методики испытания взяли в дополнение к вышеприведенным требованиям следующие показатели:

1. коэффициент однородности  $k$ ;
2. соотношение  $\Delta R : \Delta d$ ,
3. четкость лунки, т. е. резкость и чистота краев лунки.

На основании этих требований и показателей более целесообразным прибором оказался маятниковый копер с конусом  $90^\circ$  с энергией удара  $15 \text{ кг/см}$ . Результаты, полученные при разных энергиях удара, позволяют использовать маятниковый копер также для испытаний на наклонной поверхности. Соответственно изменению кинетической энергии, причиненной наклоном поверхности, мож-

но диаметр лунки редуцировать на лунку, произведенную на вертикальной поверхности.

На основе проведенной исследовательской работы можно метод испытания на твердость рекомендовать как быстрый и простой способ для текущего контроля изделий на заводах и также для ориентировочного определения прочности больших блоков.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Kurt Gaede. «Kugelschlagprüfung von Porenbeton». Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 117, 1954.
2. Kugelschlagprüfung von Gas und Schaumbeton (Entwurf. Juni 1955). Betonstein-Zeitung. Heft 10/1955.

## ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОАКУСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ЯЧЕИСТОГО КУКЕРМИТОВОГО БЕТОНА

За последние годы как в СССР, так и за рубежом большое внимание уделяется развитию новых методов контроля качества строительных материалов, которые могут быть названы физическими или адеструктивными, т.е. не требующими при испытании разрушения материалов. Эти методы развиваются на базе последних достижений акустики, электроники и радиометрии.

В СССР в течение последних десяти лет исследования в этом направлении проводились рядом научных учреждений Ленинграда, Академиями строительства и архитектуры СССР и УССР, Институтом архитектуры и строительства Академии Наук Латвийской ССР, Институтом Союздорнии, Институтом Гипроцемент, Московским автомобильным институтом, Академией коммунального хозяйства и некоторыми другими организациями и учреждениями.

В Эстонской ССР электроакустические методы для испытания строительных материалов применяются главным образом Институтом строительства и стройматериалов Академии Наук и Таллинским политехническим институтом. В них и еще на некоторых таллинских заводах применяются для этих целей бетоноскопы и сонометры польского происхождения. В прошлом году кафедра строительной механики Таллинского политехнического института применила эти приборы для косвенного определения марки ячеистого кукермитового бетона и определения прочности изготовленных из него крупных блоков горизонтального литья (размерами  $\sim 1,2 \times 0,9 \times 0,4$  м.).

Результаты, опубликованные в настоящей статье, получены из опытов по образцам, изготовленным Институ-

том строительства и строительных материалов АН ЭССР.

При испытании из вышеуказанных двух приборов лучшим оказался бетоноскоп, так как он определяет время прохождения ультразвука в примененных образцах более точно (выпиленные кубики  $\sim 12 \times 12 \times 12$  см, литые кубики  $\sim 20 \times 20 \times 20$  см и блоки толщиной 35—40 см).

При спаде питающего напряжения до 20%, оба прибора вышли из предусмотренного режима работы. Скорости прохождения ультразвука были определены импульс-бетоноскопом БИ-3 (рабочая частота до 500 кГц).

Связь между прочностью литых из газокукермитового бетона кубиков ( $20 \times 20 \times 20$  см) и скоростью прохождения ультразвука, в результате произведенных 42 испытаний, определилась следующей формулой:

$$R_{k20} = 59,7 v^2 - 154,4v + 112,8, \quad (1)$$

в промежутках

$$1,3 \leq v \leq 2,5 \text{ км/сек и}$$

$$13 \leq R_{k20} \leq 100 \text{ кг/см}^2,$$

со средней квадратической ошибкой:

$$\sigma = 11\%.$$

Скорость прохождения ультразвука была определена в двух, поперечных литью, направлениях.

Прочность крупных блоков из кукермитового бетона, коэффициент слоистости (отношение объемного веса верхнего и нижнего слоев) которых  $0,91 \leq k \leq 0,94$ , определяется этой же формулой (1) со средней квадратической ошибкой  $\sigma = 8\%$ .

В случае коэффициента слоистости

$$0,85 \leq k \leq 0,90 \text{ и}$$

$$0,95 \leq k \leq 1,00,$$

предполагаемую прочность следует редуцировать в соответствии с таблицей 2 (см. рис. 2).

Скорость прохождения ультразвука определялась в блоках арифметической средней пяти измерений, которые были произведены в точках середины четвертей боковых поверхностей и по середине самой боковой поверхности.

Если при косвенном определении прочности блоков применять комплексный, т. е. электроакустический метод совместно с испытанием на твердость, то коэффициент слоистости можно опередить посредством последнего метода.

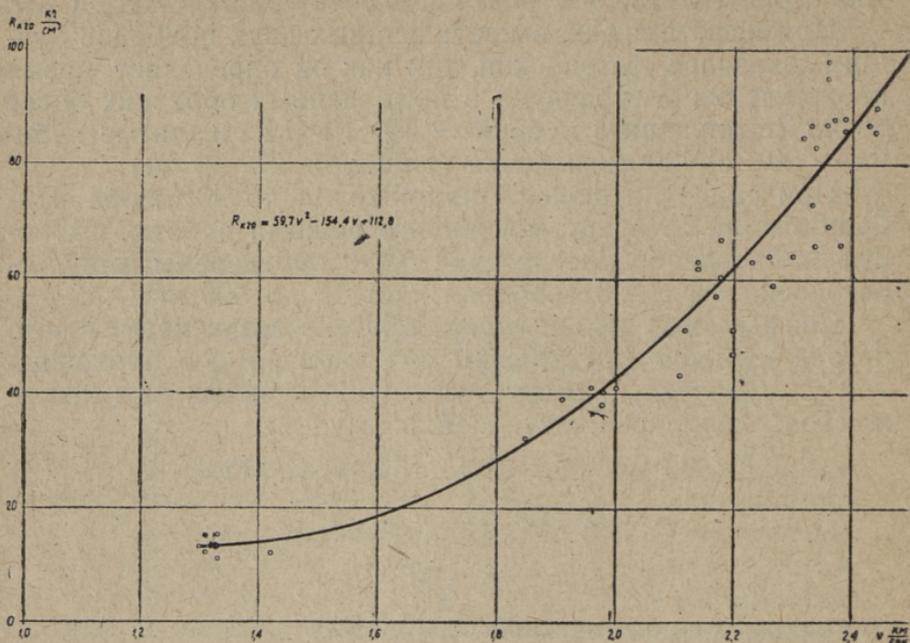


Рис. 1. Зависимость скорости прохождения ультразвука от прочности газокермитовых кубиков ( $20 \times 20 \times 20$  см).

В случае применения маятникового копра 15 кгсм ( $< 90^\circ$ ) связь коэффициента слоистости и отношение диаметров лунок верхнего (С) и нижнего (А) слоев составило:

Таблица 1

$d_a : d_c$	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75
$\kappa$	1,00	0,99	0,98	0,96	0,94	0,87

(См. в настоящем сборнике статью К. Оллика).

В нижеследующей таблице № 2 указаны прочности крупных блоков в зависимости от коэффициента слоистости. В случае  $0,91 \leq \kappa \leq 0,94$  прочности вычисляются без учета слоистости.

Таблица 2

№№ п/п	$\kappa$	0,85	0,875	0,90	0,925	0,95	0,975	1,00
1	$R_p$ кг/см <sup>2</sup>	14,0	13,5	13,2	13,0	—	—	—
2		16,2	15,4	14,4	13,7	13,4	13,2	13,0
3		20,0	18,2	16,8	15,5	14,8	14,1	13,6
4		25,1	22,5	20,5	18,6	17,3	16,1	15,4
5		31,6	28,1	25,4	22,9	21,0	19,2	17,9
6		39,5	35,2	31,6	28,3	25,8	23,3	21,0
7		48,8	43,6	39,1	35,0	31,6	28,5	26,0
8		59,6	53,2	47,8	42,8	38,7	34,8	31,6
9		71,8	64,4	57,8	51,8	46,8	42,2	38,3
10		85,3	76,8	69,1	62,1	56,1	50,6	46,0

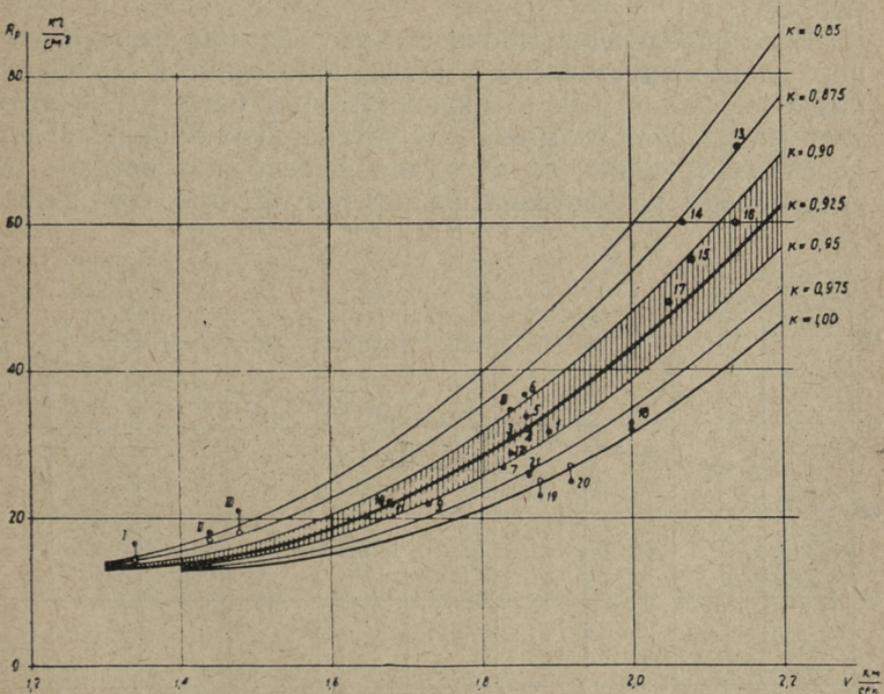


Рис. 2. Зависимость скорости прохождения ультразвука от прочности крупных блоков.

Из рисунка 2 видно, что выявленная в ней закономерность позволяет также определять прочность крупных блоков из пенокукермитового бетона (I—III). Белыми кругами обозначены редуцированные прочности с учетом слойности.

Произведенными исследованиями была определена и зависимость скорости прохождения ультразвука от объемного веса материала блока, просушенного до постоянного веса ( $\gamma_0$ ):

$$v \approx 1,7 + 1,2 (\gamma_0 - 0,65) \text{ км/сек} \quad (2)$$

в промежутках:

$$0,6 \leq \gamma_0 \leq 1,0 \text{ т/м}^3$$

При исследовании применялись блоки горизонтального литья.

Прочность блоков вертикального литья по-видимому определяется согласно кривой  $\kappa = 1,00$ , приведенной на рис. 2.

Если определение прочности посредством вышеуказанного электроакустического метода применимо в случае таких материалов, как газокукермитовый бетон (при этом этот метод дает возможность устанавливать наличие поперечных трещин), то в случае щебеночных бетонов он дает меньше удовлетворительных результатов. При их ис-

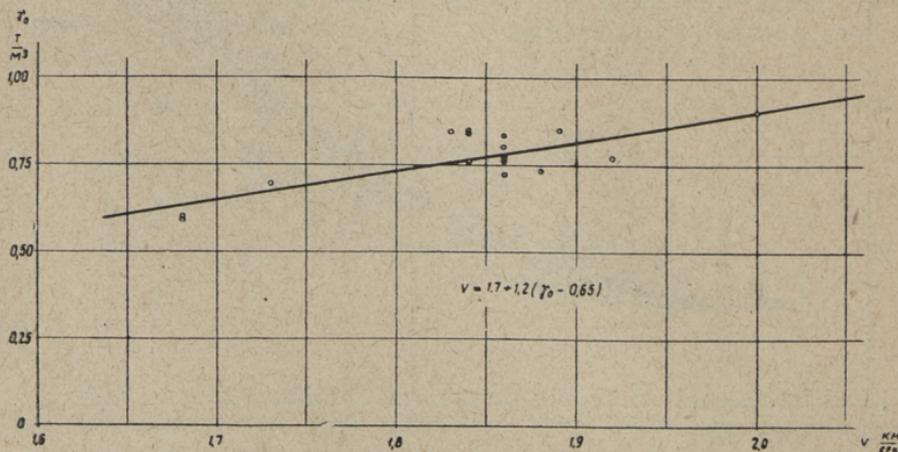


Рис. 3. Зависимость скорости прохождения ультразвука от объемного веса материала блока, просушенного до постоянного веса.

Таблица 3

**Фактические и предполагаемые прочности испытанных  
крупных блоков**

№№ п/п	Материал	Марка блока	Дейст. проч-ность	Ско-рость про-хожд. звука	Кoeff. слой-ности $\kappa$	Определен-ная прочн.				Приме-чание
						$R_p$		ред $R_p$		
						$\Delta$	$\Delta$	$\Delta$	$\Delta$	
—	кг/см <sup>2</sup>	км/сек	—	кг/см <sup>2</sup>	%	кг/см <sup>2</sup>	%	—		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Пеноукермит	I	16	1,34	0,85	13	23	14	14	Средн. слойность 0,87 < 0,91
2		II	18	1,44	0,89	14	29	16	12	
3		III	21	1,48	0,86	15	40	18	19	
4	Газоккермит	1-VIII B3	32	1,89	0,92	34	-6	блок с трещ.		Средн. слойность 0,91
5		2-VIII BI	(19)	(1,86)	(0,92)					
6		4-VIII AI	31	1,84	0,87	31	0			
7		5-VIII A2	32	1,86	0,90	32	0			
8		6-IX-1	34	1,86	0,93	32	6			
9		7-IX 2	37	1,86	0,91	32	16			
10		8-X 1	27	1,83	0,92	30	-10			
11		9-X 2	35	1,84	0,93	31	13			
12		11-XIII 3	22	1,73	0,96	25	-12	Средн. слойность 0,94		
13		12-XIII 2	22	1,68	0,92	22	0			
14	13-XIII 1	22	1,68	0,94	22	0				
15	14-XIII 5	29	1,84	0,83	31	-6	Средн. слойность 0,92; опред. по объемн. весу			
16	16-XIV B	70	2,14	0,89	56	25				
17	17-XIV C	60	2,07	0,91	49	22				
18	18-XIV A	55	2,08	0,96	50	10				
19	19-XIV D	60	2,14	0,91	56	7				
20	20-XIV E	49	2,05	0,94	47	4	Средн. слойность 0,985 > 0,94			
21	21-XIX A 1	32	2,00	0,97	43	-26			33	-3
22	22-XIX A 3	23	1,88	0,99	34	-32			25	-8
23	23-XIX B 3	25	1,92	1,00	37	-32			27	-7
24	24-XIX B 2	26	1,86	0,98	32	-19	26	0	Слой-ность опред. по твердости	
25	25-XVII 4	29	2,03	0,99	45	-36	34	-15		

пытании рекомендуются более сложные приборы, как например разработанные Институтом строительства и архитектуры Латвийской ССР, позволяющие определять три характеристики испытываемых материалов:

- 1 — упругую (скорость звука),
- 2 — неупругую (коэффициент затухания звука), и
- 3 — степень структурной неоднородности (релеевское рассеяние звука).

## ЛИТЕРАТУРА

Дурасов А. С., Крылов Н. А. Физические методы контроля качества бетона. Госстройиздат, 1959.

Михайлов И. Г. Ультразвук и его применение. Изд. Общества по распространению политехнических и научных знаний, 1958.

Пирожников Л. Б. Развитие акустических методов контроля качества бетона и железобетона за рубежом. Углетехиздат, 1957.

## ПРОЧНОСТЬ КРУПНЫХ БЛОКОВ ИЗ КУКЕРМИТОВОГО ГАЗОБЕТОНА и ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ МАРКИ НА ОСНОВЕ ПРОЧНОСТИ ВЫСВЕРЛЕННЫХ ИЗ БЛОКОВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ

Переход к полной индустриализации строительства в Эстонской ССР предусматривает широкое внедрение в производство крупных стеновых блоков из местного материала — кукермитового ячеистого бетона (сланцезольного ячеистого бетона). Массовое производство таких блоков, как пенобетонных, так и газобетонных, в настоящее время впервые организуется на новом заводе сланцезольных блоков мощностью 100 000 м<sup>3</sup> изделий в год в Ахтме (г. Кохтла-Ярве). К концу семилетки уровень производства таких блоков увеличится в несколько раз.

В целях установления основных механических показателей кукермитовых газобетонных крупных блоков, а также разработки методики косвенного определения марки блоков, авторами в 1959/60 г. были проведены соответствующие исследования. В качестве косвенного метода было рассмотрено определение прочности блоков на основе прочности высверленных из блока цилиндрических образцов  $\varnothing = H = 5$  см и, в качестве сравнения, — на основе прочности отдельно изготовленных кубических образцов.\*

Исследованные крупные блоки из автоклавного газобетона изготавливались в горизонтальных формах с разме-

---

\*Одновременно исследовались зависимость скорости распространения ультразвука от прочности кукермитового газобетона (см. в настоящем сборнике статью О. Т. Роотс) и зависимость между прочностью и твердостью его (см. в настоящем сборнике статью К. К. Оллик).

рами 90 (высота)  $\times$  120  $\times$  40 см и объемным весом в пределах от 600 до 1000 кг/м<sup>3</sup>. Блоки изготовлялись Институтом строительства и стройматериалов АН ЭССР в полупроизводственных условиях из молотой смеси циклонной золы горючего сланца и песка в соотношении 1:1 (по весу) и подвергались после предварительного пропаривания автоклавной обработке под давлением в среднем 9 атм по режиму 4+10+3 часа. Всего было испытано 30 крупных блоков.

### 1. Механические свойства крупных блоков из кукермитового газобетона

Блоки испытывались на сжатие под гидравлическим прессом. Нагрузка была увеличена ступенями — по 15 тонн через каждые 3 минуты. В ходе испытания с шести мест блока измерялись деформации. Длина базиса измерения — 50 см; точность — 0,001 мм.

Блоки были испытаны в воздушно-сухом состоянии. Влажность блоков при этом оказалась в пределах от 15 до 22%, причем она определялась как средняя влажность высверленных из разных мест блока (после его испытания на сжатие) цилиндрических образцов  $\varnothing = H = 5$  см (по 15—21 образцов). Полученный таким путем показатель средней влажности использовался для вычисления объемного веса блока в сухом состоянии, исходя из его действительного веса.

Таблица 1

**Прочность на сжатие крупных блоков из автоклавного кукермитового газобетона в зависимости от их объемного веса**

Группа блоков по объемному весу, кг/м <sup>3</sup>	Кол-во испытанных блоков, шт.	Средний объемный вес в сухом состоянии, кг/м <sup>3</sup>	Средняя влажность блоков во время испытания, %	Прочность на сжатие крупных блоков в воздушно-сухом состоянии R <sub>1</sub> , м кг/см <sup>2</sup>		
				Минимальная	Максимальная	Средняя
«600»	2	600	19,2	14,8	21,9	18,4
«700»	5	715	20,1	21,8	29,1	25,1
«800»	6	795	17,5	19,3	36,9	30,3
«900»	5	870	20,2	27,0	49,4	34,3
«1000»	4	990	17,4	54,9	70,5	60,9

Средние результаты испытания крупных блоков из автоклавного кукермитового газобетона на сжатие приведены в таблице 1.

Полученные средние показатели прочности на сжатие (марки) блока  $R_1$  следует считать хорошими. Они, например, несколько выше рекомендуемых ЦНИИСК'ом [1] для автоклавного ячеистого бетона показателей марки блока, которые при объемных весах 600, 800 и 1000  $кг/м^3$  установлены соответственно в значениях 15, 25 и 45  $кг/см^2$ .

Измерение деформаций блоков показало, что при напряжениях ниже  $0,6-0,8R_1$  зависимость деформации от напряжений при сжатии можно считать линейной. В качестве примера на рис. 1 показаны кривые деформации при сжатии для одной из партий кукермитовых газобетонных блоков с объемным весом 1000  $кг/м^3$  и пределом прочности при сжатии в среднем 60  $кг/см^2$ .

Полученные средние показатели деформативных свойств крупных блоков, в зависимости от их объемного веса, приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Показатели деформативных свойств крупных блоков из автоклавного кукермитового газобетона при сжатии**

Объемный вес газобетона в сухом состоянии, $кг/м^3$	Средние показатели воздушно-сухих блоков	
	Модуль упругости $E$ при напряжениях в пределах до $0,6 R_1$ , $кг/см^2$	Деформативность при напряжении $0,5 R_1$ , в $мм/м$
700	18800	0,58
800	26700	0,57
900	30000	0,63
1000	39000	0,76

Зависимость модуля упругости от прочности (независимо от объемного веса) при сжатии газобетонных блоков показана на рис. 2.

На рисунок нанесено также несколько результатов, полученных для неавтоклавных, пропаренных блоков (объемный вес 1000  $кг/м^3$ ), имевших более низкие показатели прочности. Как видно, последние хорошо совмещаются с данными для автоклавного газобетона. Проявляется сравнительно устойчивая связь между прочностью и



модулем упругости кукермитовых газобетонных блоков, независимо от объемного веса и интенсивности гидротермальной их обработки. Это указывает на благоприятные предпосылки для применения при оценке прочности крупных блоков таких косвенных методов, которые основываются на измерениях модуля упругости материала.

По полученным данным для воздушно-сухих крупных блоков соотношение модуля упругости и прочности на сжатие (упругая характеристика блоков), при марке блоков в пределах  $40 \text{ кг/см}^2$ , можно считать постоянной величиной  $\alpha=800$ . При более высоких марках блока значение этой величины снижается.

Первые трещины в блоках, — в виде вертикальной поперечной трещины, разделяющей блок в две колонки, которые затем продолжали нести нагрузку, — открылись в среднем при нагрузке 54% от разрушающей.

С приближением нагрузки к разрушающей, вблизи торцов блока добавились новые поперечные трещины. Признаком разрушения блока оказалось появление вертикальной продольной трещины, которая разделила блок в отдельные стенки.

В целях обследования влияния начальных усадочных трещин на прочность блока часть блоков, подлежащих к испытанию, были взяты с такими трещинами на одной или на обеих главных поверхностях блока. Испытание блоков на сжатие не показало заметного влияния начальных трещин на предел прочности блока. Однако, начальные трещины содействовали более раннему открытию первой вертикальной поперечной трещины при сжатии, — в среднем при нагрузке 37% от разрушающей.

Можно отметить, что в отличие от автоклавного газобетона, о приближении которого к состоянию разрушения своевременно извещают первые трещины, у пропаренных блоков видимые трещины открывались только вблизи самого предела прочности, в среднем при нагрузке 94% от разрушающей.

## **2. Определение марки кукермитовых газобетонных крупных блоков по прочности высверленных из них образцов**

Применение в целях оценки марки крупных блоков образцов, высверленных из самих блоков, взамен отдель-

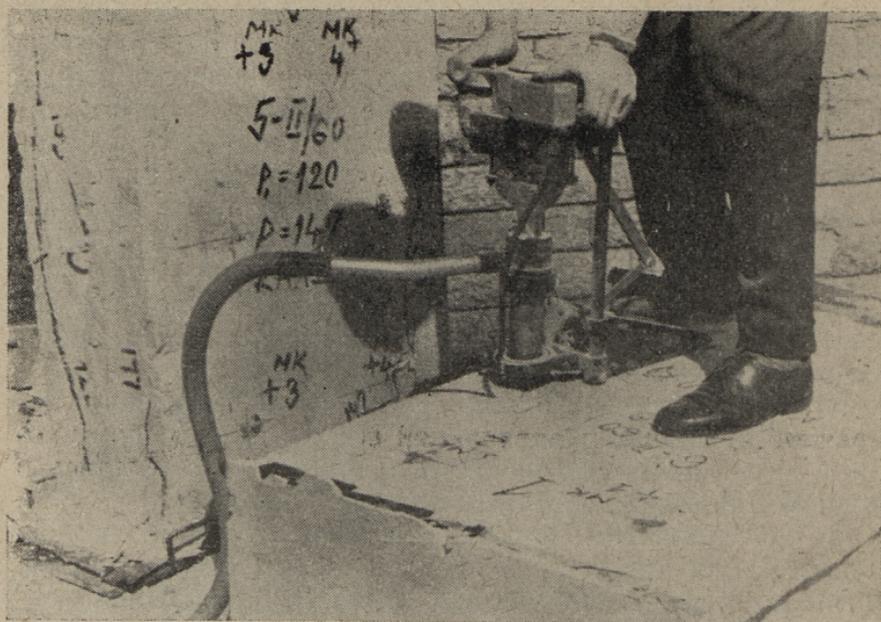


Рис. 3. Электросверло для сверления образцов из крупных блоков.

но изготовленных литых образцов, отличается большей непосредственностью определения и должно поэтому обладать большей достоверностью полученных результатов. Этот метод оказывается особенно удобным в процессе налаживания производства новых видов блоков, так как он позволяет вести всестороннее изучение их свойств.

Для высверливания из блока цилиндрических образцов  $\text{Ø}=\text{H}=5$  см в данной работе было использовано сконструированное инженером И. Ауристе электросверло, показанное на рис. 3. Образцы были взяты из различных мест блока (см. схему на рис. 4) после испытания его на сжатие.

Образцы, подлежащие испытанию на сжатие в воздушно-сухом состоянии, хранились до испытания в герметических сосудах. Остальные образцы высушивались до постоянного веса и были испытаны в таком состоянии. Определялись объемные веса материала образцов как в воздушно-сухом, так и в высушенном состояниях.

Сравнение результатов испытаний показало, что газобетонные блоки обладают некоторой слоистостью — по

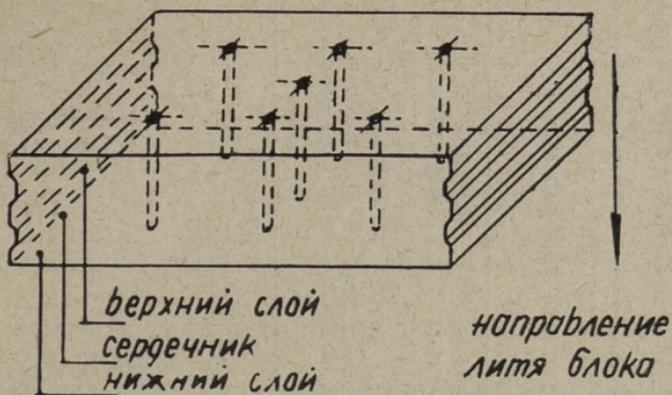


Рис. 4. Схема сверления цилиндрических образцов из крупного блока.

толщине блока объемный вес и прочность материала изменяются. Соответствующие данные приводятся в таблице 3. Кроме того, прочность при сжатии газобетона зависит от направления испытания. Так прочность образцов, высверленных из блока параллельно направлению литья газобетона, несколько ниже прочности образцов со сверлением поперек направления литья. В среднем было получено, что

$$R_{\text{цил. паралл.}} = 0,92 R_{\text{цил. попер.}}$$

Все это требует, чтобы образцы для определения марки блока были высверлены из таких мест, где связь прочности материала с прочностью блока имеет наиболее устойчивый характер.

В таблице 3 приведены полученные средние значения коэффициента  $K_1^{\text{сух.}}$  для перехода от цилиндрической прочности высушенного кукермитового газобетона к прочности воздушно-сухого крупного блока, в зависимости от места сверления цилиндров.

Как видно из приведенных данных, наиболее стабильные значения для переходного коэффициента  $K_1^{\text{сух.}}$  дали образцы из сердечника блока (наименьшее средне-арифметическое отклонение). Средняя величина переходного

Средние показатели слоистости крупных газобетонных блоков и значение переходного коэффициента  $K_1$  сух. (по 22 блокам)

	Относительные показатели слоистости блоков в %		Переходный коэффициент $K_1$
	Объемный вес сухого материала сух. цпл.	Цилиндрическая прочность сух. цпл. $R_{цпл.}^{сух.}$	
Место сверления цилиндрических образцов			Среднеарифметические отклонения отдельных результатов в % от среднего
Горцевые ребра	102,6	129,2	Средние значения $K_1^{сух.} = \frac{R_{цпл.}^{сух.}}{R_1}$ 0,32
Нижний слой, считая по направлению литья блока	100,0	100,0	0,41
Сердечник	95,2	80,7	0,49
Верхний слой	91,8	82,2	0,51
Средний всех проб	97,4	99,6	0,43
			19,4

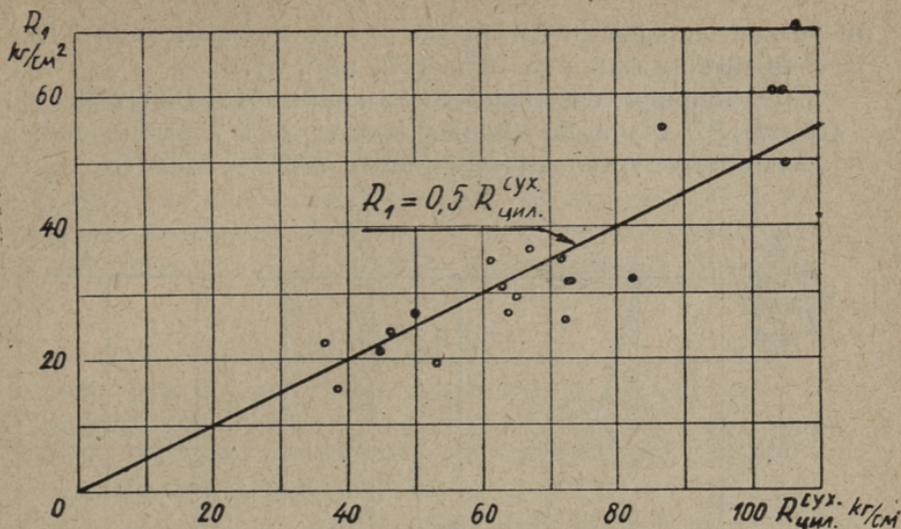


Рис. 5. Прочность блоков при сжатии  $R_1$  в зависимости от прочности высушенных до постоянного веса цилиндрических образцов

коэффициента в этом случае составляет

$$K_1^{\text{сух.}} = 0,49 \approx 0,5$$

и предел прочности блока при сжатии (марка блока) определяется по формуле:

$$R_1 = 0,5 R_{\text{цил.сух.}}$$

При этом образцы для определения  $R_{\text{цил.сух.}}$  рекомендуется высверлить с глубины не менее 5 см от верхней поверхности блока (по направлению литья блока), по 6 образцов на каждый испытываемый блок.

Полученные экспериментальные данные о прочности газобетонных блоков  $R_1$  в зависимости от цилиндрической прочности сухого материала  $R_{\text{цил.сух.}}$  изображены на рис. 5.

В качестве переходного коэффициента от прочности воздушно-сухих цилиндрических образцов к прочности крупных блоков было получено значение

$$K_1^{\text{в.с.}} = 0,85.$$

Соотношение

$$\frac{K_1^{\text{сух.}}}{K_1^{\text{в.с.}}} = \frac{0,50}{0,85} = 0,60$$

выражает коэффициент размягчения кукурмитового газобетона при влажности 15% (см. рис. 6).

Среднеарифметические отклонения отдельных результатов  $K_1$  в.с. были несколько (около 15%) выше, чем в случае определения коэффициента  $K_1$  сух.

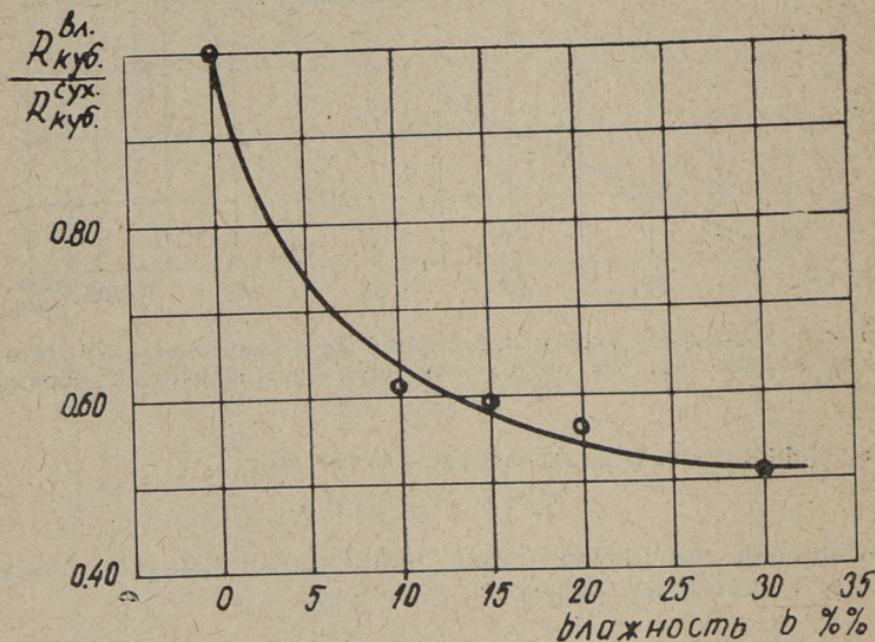


Рис. 6. Зависимость прочности автоклавного кукурмитового газобетона при сжатии от влажности материала.

Еще большие отклонения переходного коэффициента  $K_1$  — в среднем на 1,5 раза большие, чем в случае сухих цилиндрических образцов, — были получены при применении в качестве образцов отдельно изготовленных литых кукурмитовых газобетонных кубиков, несмотря на то, что для каждого 1—2 блока были изготовлены отдельные серии контрольных кубиков.

\* \* \*

Малочисленность образцов не позволило определения достоверного значения коэффициента однородности кукурмитового газобетона, которое должно быть определе-

но на основе промышленной продукции. Для ограничения колебаний объемного веса, а следовательно и цилиндрической прочности материала внутри партии следует, по крайней мере в первой стадии производства кукермитовых газобетонных блоков, провести предварительную рассортировку блоков по партиям, исходя из их действительного объемного веса, например через каждые  $100 \text{ кг/м}^3$ .

### З а к л ю ч е н и е.

1. Крупные блоки из автоклавного кукермитового газобетона с объемным весом  $600\text{—}1000 \text{ кг/м}^3$  по своей прочности вполне пригодны для применения в несущих стеновых конструкциях зданий.

2. На основании полученных в работе результатов разработана методика определения марки таких блоков на основе прочности высверленных из них цилиндрических образцов, причем предусматривается:

а) рассортировка партии блоков, изготовленных в одинаковых технологических условиях, по их действительному объемному весу в группы через каждый  $100 \text{ кг/м}^3$  объемного веса;

б) определение прочности блоков на сжатие для отдельной группы блоков данной партии по средней прочности образцов, высверленных из выборки блоков — по 6 образцов из каждого блока; образцы высверливаются из разных мест (по рис. 4) с глубины не менее  $5 \text{ см}$  от верхней поверхности блока (считая по направлению литья блока); прочность блоков определяется по формуле

$$R_1 = 0,5R_{\text{сух.}}^{\text{цил.}}$$

\*

Результаты данной работы введены в республиканские по ЭССР «Временные технические условия на крупные блоки из автоклавного пено- и газокукермита» (РСН-14-60).

### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Левин Н. И. Исследование механических свойств блоков из ячеистого бетона. Труды НИИЖБ, выпуск 8, Москва, 1959.

2. ЦНИИСК. Временные технические условия по применению крупных стеновых блоков из ячеистого бетона (ячеистобетонных блоков). Проект. Москва, 1959.

СБОРНИК ТРУДОВ ПО ИЗУЧЕНИЮ  
ЗОЛЫ СЛАНЦА-КУКЕРСИТА II  
Таллинский политехнический институт

Редактор Р. Отсман.

Технический редактор Я. Мыттус.

Корректор А. Хайн.

Сдано в набор 13 IV 1961. Подписано к  
печати 11 XII 1961. Бумага 54×84<sup>1/16</sup>.  
Печатных листов 6,25. По формату 60×92  
печатных листов 15,13. Учетно-издатель-  
ских листов 4,7. Тираж 600 экз.  
МВ-09616. Заказ 934.

Типография «Пунане-Тяхт», Таллин,  
ул. Пикк 54/58.

Цена 33 коп.

7.8.62.

22.10.63.

33 коп.

