

**Б.Н. Кауфман**

# **Производство и применение пенобетона**

**Москва  
«Книга по Требованию»**

УДК 62  
ББК 30.6  
Б11

Б11 **Б.Н. Кауфман**  
Производство и применение пенобетона / Б.Н. Кауфман – М.: Книга по Требованию, 2023. – 120 с.

**ISBN 978-5-458-23879-3**

**ISBN 978-5-458-23879-3**

© Издание на русском языке, оформление  
«УОУО Media», 2023  
© Издание на русском языке, оцифровка,  
«Книга по Требованию», 2023

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



весьма высока.

Многочисленные обследования состояния утепленных пенобетонных конструкций показывают, что этот материал в процессе длительной эксплуатации (до 5—6 лет и более) оказался вполне удовлетворительным как со стороны теплозащитных свойств, так и с точки зрения прочности и устойчивости во времени.

Вместе с тем от строителей иногда приходится слышать нарекания на недостаточную прочность пенобетона, вследствие чего имеет место значительное количество боя и отходов, и, что наиболее важно, на, якобы, происходящую потерю прочности пенобетона с течением времени.

Прочность термоизоляционного пенобетона, действительно, не слишком велика. Однако, как показывает практика, выполнением ряда простейших мероприятий при изготовлении, транспорте и укладке пенобетона, совокупно с соблюдением определенных требований к минимальной его прочности, можно почти полностью избежать боя и отходы материала. Что же касается потери пенобетоном прочности с течением времени, то она также не имеет места, если пенобетон правильно изготовлен и надлежащим образом выдержан. Это подтверждается не только многочисленными лабораторными исследованиями различных научных организаций, но и обширной практикой производства и применения пенобетона на тех стройках, где к делу относятся хотя бы с минимальной степенью технической культуры.

К числу недостатков термоизоляционного пенобетона на чистом портландцементе надо отнести присущую ему благодаря большому расходу цемента значительную усадку. Усадочные напряжения, вследствие малой прочности материала на разрыв, доходят (особенно при нахождении пенобетона в условиях переменной влажности) до величин, вызывающих появление многочисленных трещин в пенобетоне. Однако, при нахождении пенобетона в конструкции (например, в утеплении кровель, где снизу имеется пароизоляционный слой, а сверху — водоизоляционный ковер, а также в утеплении трубопроводов при наличии гидроизоляции и, наконец, в утеплении стен при наличии плотной штукатурки) потеря им влаги невозможна или, во всяком случае, весьма затруднительна, вследствие чего и опасность появления трещин, как это подтверждается данными практики, локализуется. Кроме того, в термоизоляционном пенобетоне, как материале, не предназначенном для несения нагрузок, наличие усадочных трещин не может вызывать особых опасений.

Значительная усадка, свойственная пенобетону естественного вызревания, могла бы быть уменьшена за счет интенсификации твердения в начальный период такими приемами, как пропарка или запарка под давлением. Однако применение этих приемов к термоизоляционному пенобетону на чистом портландцементе надлежащего эффекта пока не дает. Лишь в последнее время появились некоторые намечки возможности применения автоклавной обработки к термоизоляционному пенобетону. Тем не менее, поскольку

дело это находится еще только в стадии самых предварительных лабораторных исследований, ориентироваться на него в практических условиях пока не приходится.

Другой вид пенобетона — конструктивный пенобетон, более тяжелый, чем термоизоляционный, но зато и более прочный, компонуемый на базе портландцемента с молотым (и частично немолотым) песком, — до последнего времени потому и не получал распространения, что делать несущие конструкции из материала, подвергающегося значительным усадочным деформациям, не представлялось возможным.

В 1936—1937 гг. работами ЦНИПС'а (инж. И. Т. Кудряшев) практически освоена запарка под давлением конструктивного пенобетона, вследствие чего удалось добиться получения материала довольно высокой прочности и значительно снизить усадочные напряжения. При расходе цемента 250 кг/м<sup>3</sup> ЦНИПС'ом доказана возможность получения материала прочностью не менее 25—30 кг/см<sup>2</sup> и объемным весом (в расчетном состоянии) около 700 кг/м<sup>3</sup>.

В настоящее время в СССР работают уже два завода (на стройках в Челябинске и Новосибирске), построенные при участии ЦНИПС'а и выпускающие такой материал в виде армированных плит, применяемых в покрытиях цехов промышленных зданий и являющихся одновременно как несущим элементом, так и термоизолятором. Этот же материал может быть с успехом применен и для производства стеновых блоков.

В связи с развитием производства автоклавного конструктивного пенобетона у многих возникает вопрос: не вытеснит ли он полностью термоизоляционный пенобетон, по крайней мере для отопления кровель. Поскольку применение его снижает расход цемента и благодаря освобождению от чисто-несущих элементов (например, железобетонных плит кровли) дает существенный экономический эффект.

На это, во-первых, можно возразить, что выбор всякого материала при проектировании должен всегда производиться на основе строгого учета местных условий и реальной возможности получения того или иного материала. Термоизоляционный пенобетон естественного изготовления на чистом портландцементе потому и получил такое широкое распространение, что производство его легко, быстро и при совершенно незначительных капитальных вложениях может быть осуществлено на любой стройке. Между тем для производства конструктивного пенобетона, требующего автоклавной обработки, необходимо иметь паровое хозяйство, автоклавы, шаровые мельницы для помола песка, металлические формы и пр. Все это, конечно, не представляет непреодолимых препятствий, но, во-первых, целесообразно лишь на весьма крупных стройках, а во-вторых, требует солидных капитальных вложений (не менее 500—600 тыс. руб.) и времени на организацию и освоение производства.

Независимо от этого и вопрос о технико-экономической эффективности конструктивного пенобетона по сравнению с термоизоляционным также требует уточнения.

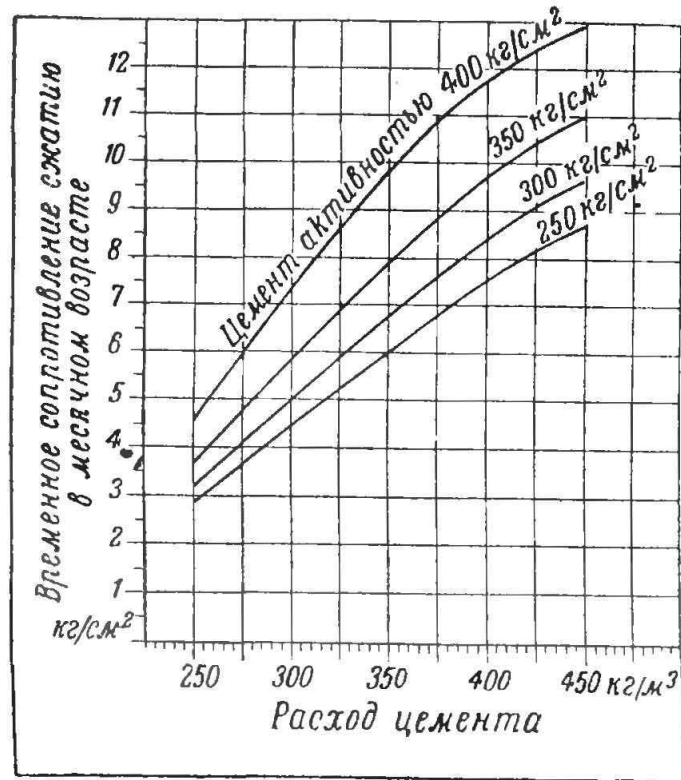
Подсчеты, произведенные для сравнения обычной конструкции, применяемой для покрытий промзданий, из железобетонных сборных ребристых плит с утеплением термоизоляционным пенобетоном, с одной стороны, и несущей конструкции из армированных плит конструктивного пенобетона, с другой, показывают, что покрытия из армированного конструктивного пенобетона являются эффективными лишь для кровель с  $R_0 \leq 1,50—1,60$ . Если же взамен железобетонных плиток применить легкий штампованный металлический настил, волнистое железо, либо, наконец, волнистую асбофанеру, утепленные термоизоляционным пенобетоном, то такие покрытия оказываются значительно эффективнее (по стоимости, весу, расходу цемента) покрытий из армированного конструктивного пенобетона для кровель с любыми, требуемыми практикой, величинами  $R_0$ .

Таким образом, становится ясным, что с точки зрения экономической область применения конструктивного пенобетона имеет определенные пределы. Следует к тому же отметить, что ввиду отсутствия пароизоляционного слоя кровельные плиты из армированного конструктивного пенобетона могут применяться лишь для покрытий цехов со сравнительно невысокой влажностью воздуха — до 55—60%. В целом же можно констатировать, что оба вида пенобетона обладают правом на существование, и выбор между ними должен производиться на основе учета местных условий и всего того комплекса вопросов, лишь при правильном разрешении которых удастся использовать каждый материал с максимальным технико-экономическим эффектом.

# I. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ПЕНОБЕТОНА

## 1. Прочность

Прочность пенобетона зависит, в основном, от активности применяемого цемента и его расхода. Графики 1 и 2 иллюстрируют взаимосвязь между этими исходными факторами и временным сопротивлением пенобетона сжатию в месячном и трехмесячном воз-



Фиг. 1. Прочность пенобетона в месячном возрасте, в зависимости от расхода и активности цемента

расте. Временное сопротивление пенобетона изгибу составляет 50—60% от сопротивления сжатию.

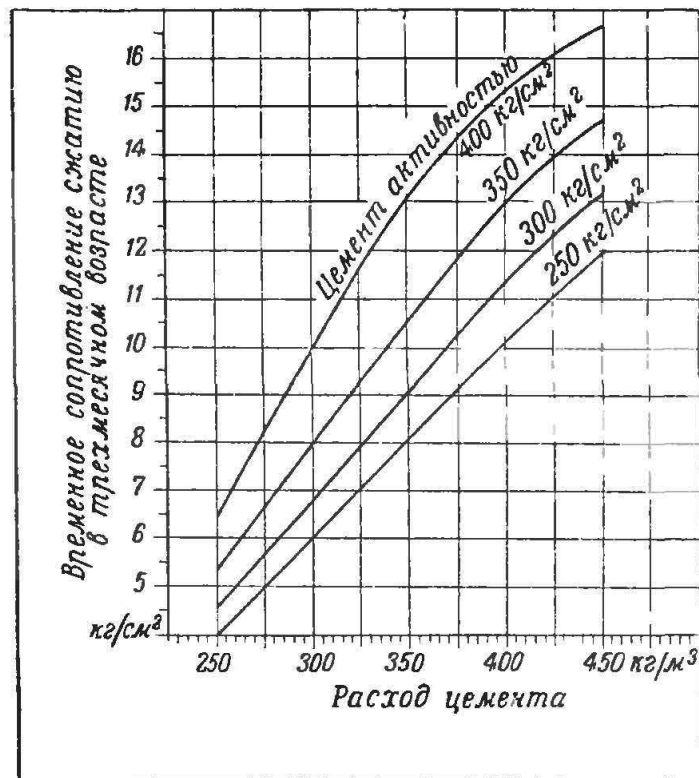
Исходя из практических данных, следует считать, что по соображениям транспортабельности минимальная прочность на сжатие пенобетонных изделий, при выпуске их с завода, должна составлять 7—8 кг/см². Этой прочности соответствует при цементах активностью 250—300 кг/см² пенобетон с расходом цемента 350 кг/м³.



Последний и является наиболее употребительным видом термоизоляционного пенобетона, применяемым в строительстве.

Для пенобетона, укладываемого в конструкцию не в виде изделий, а так называемым «монолитным» способом (см. ниже), минимальная прочность на сжатие может быть снижена и должна составлять в месячном возрасте 4—5 кг/см<sup>2</sup>.

Пенобетон, будучи правильно изготовлен и надлежащим образом выдержан (см. ниже), возрастает в прочности с течением вре-



Фиг. 2. Прочность пенобетона в трехмесячном возрасте в зависимости от расхода и активности цемента

мени. Это увеличение составляет для трехмесячной прочности 30—35%, а для годичной — 60—70% от прочности в месячном возрасте.

## 2. Объемный вес

Объемный вес пенобетона, в основном, зависит от расхода цемента и для сухого состояния может быть определен умножением расхода цемента на коэффициент 1,18—1,20.

В конструкции пенобетон обладает некоторой долей влажности, которая, естественно, отражается на его объемном весе. Величина этой влажности, согласно ряду практических данных (табл. 1), обычно не превышает 6—8%, в среднем, 7% по объему. Прибавлением этой влажности к объемному весу сухого пенобетона и определяется его объемный вес в так называемом «расчетном» состоянии.

Таблица 1

**Сводка результатов определения фактических размеров влажности пенобетона в конструкциях**

№ по порядку	Назначение здания	Вид применения пенобетона	Возраст пенобетона лет	Время взятия пробы	Влажность пенобетона						
					% по весу			% по объему (ориентировочно)			
					с наружн. стороны	в середине	с внутрен. стороны	с наружн. стороны	в середине	с внутрен. стороны	среднее
<b>Депинград</b>											
1	Гараж	Заполн. карк. стен	3	Январь	—	—	13,9	—	—	6,2	6,2
2	Склад	То же	3	Октябрь	—	15,9	16,9	—	6,8	7,2	7,0
3	Листопроект. цех	"	2	"	11,9	10,8	—	6,5	7,1	—	6,7
4	Склад	"	1	"	12,6	17,0	—	5,4	7,2	—	6,3
5	Жилой дом	"	2	"	32,4	15,5	—	13,8	6,6	—	10,2
6	Холодильник	"	2	Март	18,0	17,7	17,5	7,7	7,6	7,5	7,6
<b>Башкент</b>											
7	Отделочн. цех	Отепл. ж.-б. кровли	3	Апрель	18,8	16,0	10,4	8,0	6,8	4,4	6,4
8	"	То же	3	"	18,4	11,4	12,7	7,8	4,8	5,4	6,0
9	Пряд.-ткацкий цех	"	3	"	12,0	8,1	8,2	5,1	3,5	3,8	4,0
10	"	"	3	"	3,6	7,7	3,8	1,5	3,3	1,6	2,1
<b>Барнаул</b>											
11	Пряд. цех	Отепл. ж.-б. кровли <sup>1</sup>	6	Апрель	—	18,7	—	—	7,5	—	7,5
12	"	То же	6	"	—	20,0	—	—	8,0	—	8,0
13	Пригот.-пряд. цех	"	6	"	—	18,3	—	—	7,3	—	7,3
14	"	"	6	"	—	12,3	—	—	4,9	—	4,9

<sup>1</sup> Отсутствует пароизоляционный слой.

График 3 иллюстрирует взаимосвязь между расходом цемента и объемными весами пенобетона в сухом и расчетном состояниях. По этому графику можно установить, что наиболее часто применяемый пенобетон, с расходом цемента  $350 \text{ кг/м}^3$ , имеет расчетный объемный вес  $480\text{--}490 \text{ кг/м}^3$ .

Удельный вес пенобетона, в среднем, составляет 2,75. График 3 иллюстрирует взаимосвязь между объемным весом и вычисленной, исходя из вышеуказанного удельного веса, пористостью пенобетона.

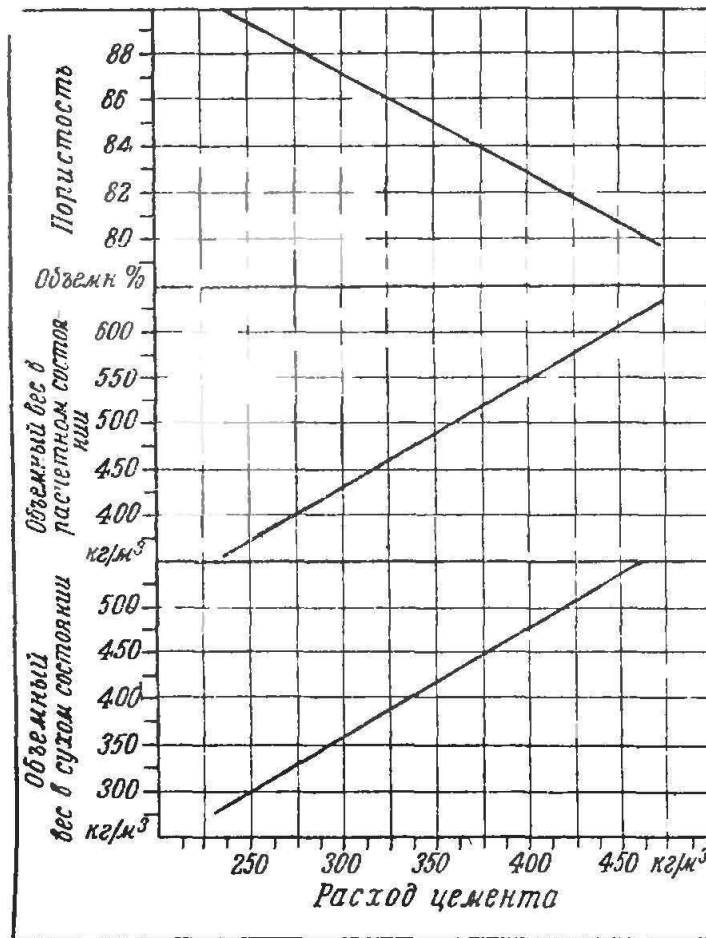
### 3. Структура

Структура пенобетона представляется в виде ячеек, разделенных между собой перегородками из отвердевшего цементного теста. Ячейки имеют шаровидную форму. Стенки между ячейками

частично имеют отверстия, так что ячейки в известной мере сообщаются между собой.

Размер ячеек может подвергаться значительным колебаниям в зависимости от различных факторов; диаметр ячеек колеблется от 0,25—0,5 мм до 2—3 мм. Практически удобнее характеризовать размер ячеек количеством открытых пор на 1 см<sup>2</sup> поверхности разреза пенобетона.

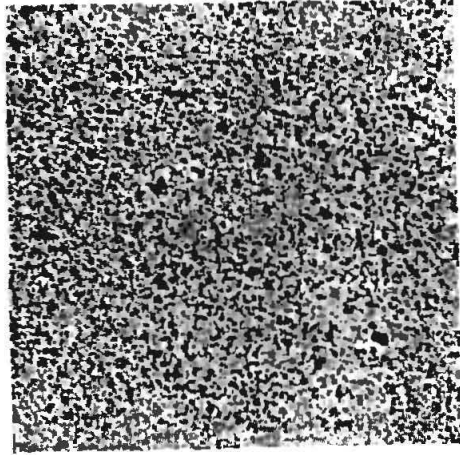
Пенобетон различается мелкоячеистой (200—300 яч/см<sup>2</sup>), среднеячеистой (100—150 яч/см<sup>2</sup>) и крупноячеистой структуры (25—50



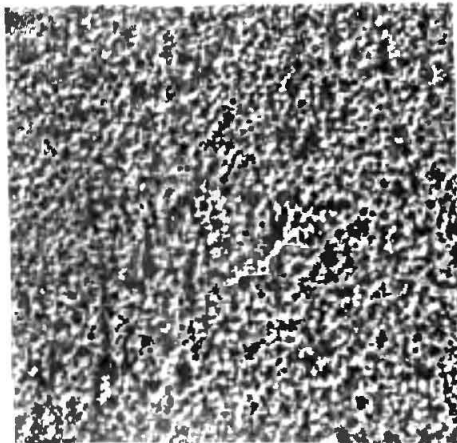
Фиг. 3. Объемный вес и пористость пенобетона, в зависимости от расхода цемента

яч/см<sup>2</sup>). На фиг. 4—6 приведены в натуральную величину иллюстрации пенобетона с различной структурой. На практике, при условиях изготовления, подробно описанных ниже, обычно, производится пенобетон с 200 яч/см<sup>2</sup>, являющийся наиболее распространенным в строительстве.

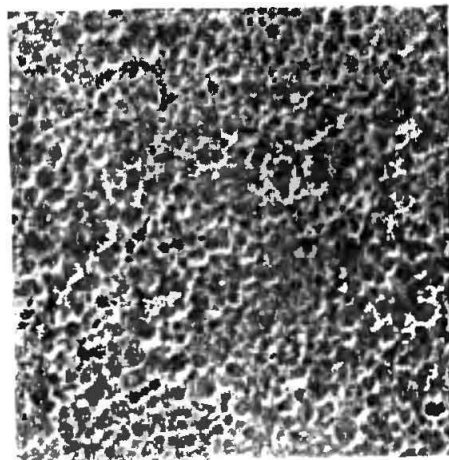
Пенобетон, правильно изготовленный, обладает равномерной структурой — все ячейки имеют незначительно отличающиеся друг от друга размеры (см. фиг. 4—6). В случае неправильного технологического процесса пенобетон обладает неравномерной структурой —



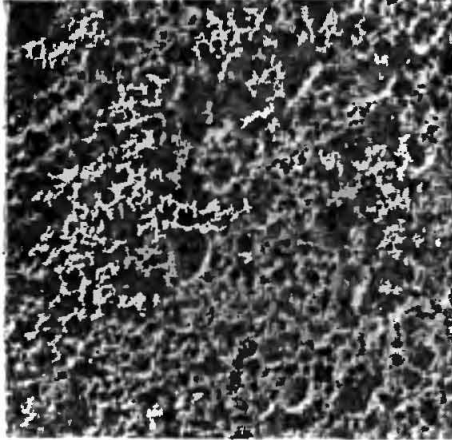
Фиг. 4 Образец мелкоячеистого пенобетона



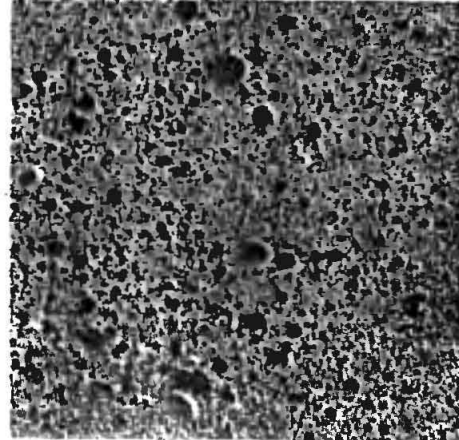
Фиг. 5 Образец среднеячеистого пенобетона



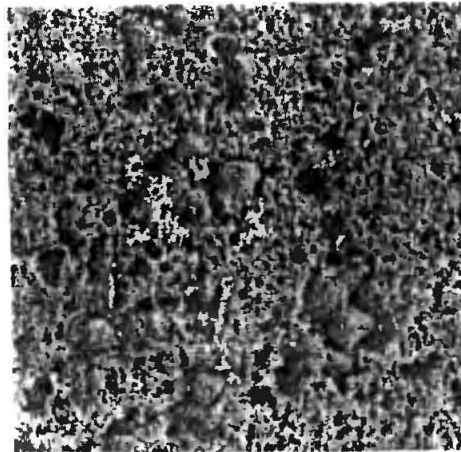
Фиг. 6 Образец крупноячеистого пенобетона



Фиг. 7. Образец пенобетона неравномерной структуры



Фиг. 8. Образец пенобетона неравномерной структуры



Фиг. 9. Образец пенобетона неправильной структуры

ячейки имеют неправильную (некруглую) форму, стенки между ячейками разорваны, а размер ячеек весьма неравномерен (фиг. 7—8). Это имеет, обычно, место при недостаточном количестве воды при затворении цементного теста.

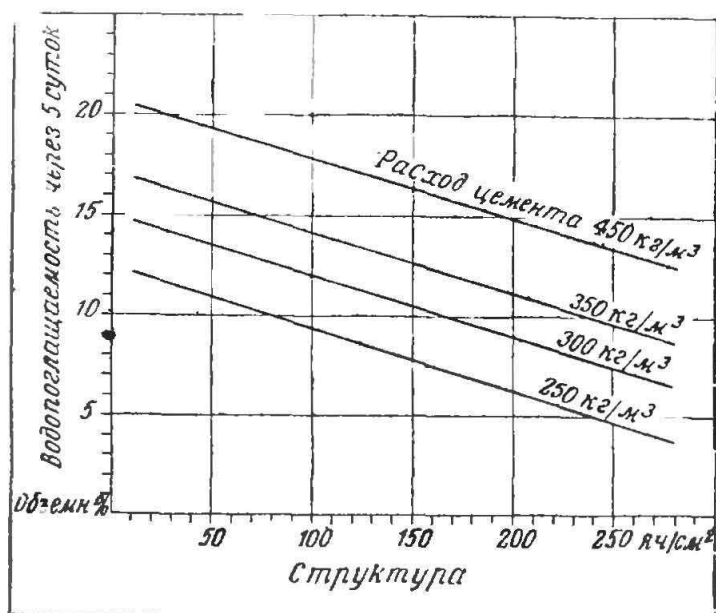
Если же воды дано еще меньше, то получаются отдельные комки цементного теста в пенобетоне (фиг. 9). Такой материал является уже браком, и в дело применять его не следует.

Как будет показано ниже, структура пенобетона отражается на его теплопроводности и водопоглощаемости.

#### 4. Водопоглощаемость и гигроскопичности

Величины водопоглощаемости и гигроскопичности пенобетона зависят от расхода цемента и размера пор пенобетона.

На графиках 10—11 приведены данные о водопоглощаемости пенобетона после 5-суточного пребывания в воде и гигроскопичности его после 5-суточного пребывания во влажном (100%) воздухе, в зависимости от структуры и расхода цемента.



Фиг. 10. Водопоглощаемость пенобетона через 5 суток, в зависимости от структуры и расхода цемента

Графики 12—13 иллюстрируют водопоглощаемость и гигроскопичность пенобетона с наиболее часто применяемым расходом цемента —  $350 \text{ кг/м}^3$ , в зависимости от продолжительности пребывания в воде или влажном воздухе.

Из этих данных можно установить, что водопоглощаемость и гигроскопичность пенобетона весьма невелики (имея в виду малый его объемный вес) по сравнению с обычно имеющей место у других теплоизоляционных материалов. Это, в частности, подтверждается