РЕКОМЕНДАЦИИ

по проектированию составов и технологии производства конструктивного легкого бетона для несущих конструкций крупнопанельных зданий

ЦНИИЭП жилища

gost.e-ecolog.ru

Государственный комитет по гражданскому строительству
и архитектуре при Госстрое СССР

Центральный ордена Трудового Красного Знамени
научно-исследовательский и проектный институт типового
и экспериментального проектирования жилища
(ЦНИИЭП жилища)

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ СОСТАВОВ И ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА КОНСТРУКТИВНОГО ЛЕГКОГО БЕТОНА ДЛЯ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ КРУПНОПАНЕЛЬНЫХ ЗДАНИЙ

Утверждены
председателем Научно-
технического совета,
директором института
Б.Р.Рубаненко
(протокол № 9 от 28 апреля 1982г.)

Москва – 1982

Настоящие Рекомендации содержат основные положения и таблицы, связанные с определением состава и технологии конструктивного легкого бетона для производства крупнопанельных несущих конструкций, обеспечивающих звукоизоляцию помещений.

Работа составлена сотрудниками отдела легкобетонного домостроения ЦНИИЭП жилища (заведующий канд. техн. наук Н.С.Стронгин).

Ответственный исполнитель – канд. техн. наук Н.Я.Спивак.

Исполнители: инженеры А.Е.Смирнов, З.С.Дупленко, В.А.Кашуба, Б.И.Штейман, В.С.Жикунова (ЦНИИЭП жилища); участники: докт. техн. наук И.Е.Путляев и канд. техн. наук В.И.Савин (НИИЖБ), докт. техн. наук Г.И.Горчаков и канд.техн.наук Л.П.Орентлихер (МИСИ им. В.В. Куйбышева). Графическое оформление выполнено инженерами М.И.Яковлевой и М.А.Лавровым. Экспериментальные работы по звукоизоляции проведены в отделе звукоизоляции ЦНИИЭП жилища (заведующий-канд. техн. наук В.Г.Крейтан) инженерами Б.Г.Рудерманом и И.А.Рассохиным при участии А.Е.Смирнова.

Замечания и запросы по Рекомендациям направлять по адресу: 127434, Москва, Дмитровское шоссе, 9 Б, ЦНИИЭП жилища, лаборатория применения легкого бетона в индустриальных конструкциях жилых зданий.

© ЦНИИЭП жилища

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Рекомендации содержат основные положения и методические указания по проектированию состава и технологии конструктивного легкого бетона при производстве несущих и звукоизолирующих внутренних ограждающих конструкций крупнопанельных жилых зданий и составлены в развитие "Инструкции по изготовлению конструкций и изделий из бетонов, приготовляемых на пористых заполнителях", СН 483-76 и "Рекомендаций по технологии заводского производства и контролю качества легкого бетона и крупнопанельных конструкций жилых зданий" (М., ЦНИИЭП жилища, 1980).

1.2. Конструктивный легкий бетон марок М100, М150, М200 и М250 предназначается для внутренних несущих и звукоизолирующих ограждающих конструкций - внутренних несущих межквартирных и внутриквартирных стен, акустически однородных панелей междуэтажных перекрытий, несущей части акустически раздельных панелей междуэтажных перекрытий, несущих и ненесущих конструктивных панельных, доборных и объемноблочных элементов, лестничных маршей и площадок внутренних стен подвальных и чердачных помещений.

1.3. Расход бетона на внутренние несущие и ограждающие конструкции панельных зданий составляет от 65 до 70% от общего его расхода или от 0,4 до 0,6 $м^3/м^2$ общ.пл. Применение легкого бетона во внутренних конструкциях жилых домов позволяет снизить вес конструкций на 600-800 $кг/м^3$, или на 240-480 $кг/м^2$ общ.пл. Около 75% внутренних конструкций должны обеспечивать звукоизоляцию, которая, как правило, является определяющей для формообразования и свойств материала конструкции.

1.4. Звукоизолирующие конструкции наиболее эффективны в акустически раздельных поперечных сечениях. Разделяя конструкцию на функциональные слои (несущий, звукоизолирующий и экранирующий) и подбирая целенаправленно материалы каждого слоя, обычно удается ограничить сечение и свойства бетона основного несущего слоя требованиями прочности и деформативности. Особенно целесообразно применение акустически раздельных конструкций перекрытий, где раздельность компенсирует еще и, так называемую, косвенную звукопередачу. Совсем иные результаты при применении акустически однородного сплошного сечения звукоизолирующей воздушный шум несущей конструкции. Звукоизолирующая способность акустически однородной конструкции стены находится в логарифмической зависимости от m – поверхностной плотности, т.е. от веса на 1 м^2 конструкции.

Для конструкций из бетона нормы требуют (СНиП II-12-77):

$R_в \geq 23 \lg m_э$ – 10 дБ при $m_э \geq$ 200 кг/м^2,

где $m_э$ – эквивалентная плотность в кг/м^2;

$R_в \geq 13 \lg m_э$ + 13 дБ при $m_э \leq$ 200 кг/м^2.

Для ограждающих и несущих конструкций стен из бетонов на пористых заполнителях $K = 2{,}26\sqrt{\frac{E}{\gamma^3}}$, где E – модуль упругости, γ – плотность материала, кг/м^3. Таким образом, сплошная конструкция из легкого бетона может быть более или менее эффективна по звукоизоляционной способности в зависимости от упругих (E) и объемно-весовых (γ) характеристик примененного легкого бетона.

1.5. Путем направленного структурообразования представляется возможным изменить свойства легкого бетона с целью достижения улучшенной звукоизоляции от воздушного шума легкобетонного ограждения вплоть до уровня показателя звукоизоляции ограждения из тяжелого бетона одинакового сечения.

Поскольку стоимость 1 м^3 керамзита в большинстве экономических районов страны выше стоимости природных тяжелых заполнителей, применение легкого бетона во внутренних несущих и звукоизолирующих конструкциях считается неэкономичным.

1.6. Условием экономичности легкобетонной конструкции является меньшая стоимость, определяемая соотношением расходов и цен компонентов бетона и толщины конструкции, зависящей от эквивалентности веса тяжелого и легкого бетона и от нагрузки. В этом и состоит основная задача Рекомендаций: определить метод и пределы оптимизации структуры легкого бетона по факторам стоимости компонентов, плотности и модулю упругости легкого бетона несущих и звукоизолирующих стен.

1.7. Основными теоретическими предпосылками для проведения оптимизации легкого бетона по фактору $\frac{E}{\gamma}$ с ограничением по условию стоимости приняты следующие.

Легкий бетон является конгломератным строительным материалом, на который распространяются основные закономерности, сформулированные Н.А.Поповым и развитые в работах его школы (Г.И. Горчаковым, И.А.Рыбьевым, И.А.Ивановым и др.).

Все свойства легкого бетона зависят от его структуры, рассматриваемой во взаимосвязи трех основных факторов:

– агрегатной структуры, зависящей от свойств и упорядоченности расположения пористого заполнителя в структуре бетона;

– концентрации вяжущего, зависящей от свойств цемента и дисперсной части пористого заполнителя;

– расхода воды затворения, зависящего от параметров формовочного оборудования, определяющих способ и режим уплотнения бетонной смеси при формовании.

Агрегатная структура легкого бетона определяется: предельной крупностью заполнителя ($\mathcal{D}$), принимаемой 5, 10 и 20 мм; зерновым составом, принимаемым по математической модели

$$y = \left(\frac{x}{\mathcal{D}}\right)^{n},$$

где y – проход через сито стандартного набора в объемно-насыпных долях единицы;

x – размер отверстия сита, мм;

$\mathcal{D}$ – предельная крупность смеси, мм;

n – показатель гранулометрии,

и отношением $\frac{M}{M+K}$ мелких и крупных фракций, называемым агрегатно-структурным фактором. Если принять мелкие фракции до 5 мм, то

$$\frac{M}{M+K} = \left(\frac{5}{Д}\right)^{n}.$$

Все вышеприведенные отношения принимаются только по насыпным объемам в отличие от весовых соотношений, принятых для тяжелых заполнителей.

Значение n зависит от конструктивной характеристики пористого заполнителя, определяемой $\frac{R}{\gamma}$ – отношением прочности (R) при сдавливании в цилиндре стандартной смеси данного заполнителя к его насыпной объемной массе (γ).

$$n = a + \frac{R}{\gamma} - b,$$

где a и b – коэффициенты.

Это означает, что имеется оптимальный показатель гранулометрического состава для данного вида заполнителя, при котором обеспечивается наибольшая прочность для данного минимального объемного веса. Чем выше значение конструктивного качества, тем меньше будет $\frac{M}{M+K}$ – доля растворной части в смеси, обеспечивающей получение бетона заданной прочности. В этом заключается опровержение неправильного представления о предельной прочности бетона на данном виде пористого заполнителя, не зависящего якобы от расхода цемента. Это справедливо лишь для данного значения γ'* – показателя гранулометрии, при уменьшении которого прочность будет увеличиваться с увеличением расхода цемента. Решающее значение при этом заключается именно в агрегатно-структурном факторе $\frac{M}{M+K}$, определяющем количество растворной части в бетоне, точнее – его удельное значение в структуре.

1.8. Конструктивное качество зависит в основном от технологии производства и свойств сырьевых материалов. Для примера можно привести показатели лианозовского и октябрьского керамзита:

для лианозовского имеем $K_к = \frac{12{,}7}{365} \cdot 10^4 = 348$ м;

для октябрьского – $K_к = \frac{39{,}6}{520} \cdot 10^4 = 760$ м.

Конструктивное качество октябрьского керамзита в 2,2 раза превышает показатель лианозовского.

Многолетние исследования позволили установить эмпирическую связь между конструктивным качеством пористого заполнителя и показателем гранулометрии:

$$n = 0{,}35 \frac{R}{\gamma_{нас}} \cdot 10 = 0{,}35 + \frac{K_к}{1000}.$$

Из формулы следует, что с увеличением конструктивного качества заполнителя увеличивается значение показателя гранулометрии и, следовательно, уменьшается $\frac{M}{M+K}$, т.е. достигается слитность структуры и требуемая прочность бетона при меньшем удельном значении растворной части в строении бетона. Для примера приво-

---

* γ' – концентрация (абсолютный объем на 1 м^3) крупного пористого заполнителя в легком бетоне (по А.И.Ваганову) не может заменять показатель агрегатной структуры $\frac{M}{M+K}$.

дятся результаты вычисления соответствующих значений (табл. 1).

Таблица 1

Пример вычисления значений $\frac{M}{M+K}$ для различных пористых заполнителей

Конструктивное качество $K_к$, м	Менее 100 (шлаки)	200 (аглопорит)	300 (шлакопемза)	500 (керамзит первой категории)	700 (керамзит высшей категории)
Значение показателя гранулометрии n	0,4	0,5	0,6	0,8	1
Значение агрегатно-структурного фактора при ПК 20	0,57	0,5	0,43	0,33	0,25
То же, при ПК 10	0,76	0,71	0,66	0,57	0,5

Концентрация цемента определяется его активностью, водопотребностью смеси и требуемой прочностью бетона, а также участием дисперсной части пористого заполнителя в новообразованиях вяжущего.

Водопотребность бетонной смеси зависит от водопотребности пористого заполнителя (определяемой по методу А.А.Аракеляна согласно ГОСТ 9758-77); от требуемой удобоукладываемости, определяемой технологическим регламентом оборудования, и от водопотребности цемента, определяемой нормальной густотой Н Г.

В домостроительном производстве виброукладываемость зависит от технологических характеристик оборудования. При горизонтальном способе формования для бетона на пористом заполнителе необходимо применять уплотнение на виброплощадке в комбинации с вибронасадкой или с пригрузом (виброукладываемость – не менее 20 с с пригрузом не менее 20 г/см^2).

Для кассетного формования согласно исследованиям канд. техн. наук Б.С.Комиссаренко (НИИКерамзит) оптимальна виброукладываемость, определяемая подвижностью по ОК 6-8 см для смеси с гравийным и 10-12 см – со щебеночным пористым заполнителем.

1.9. На основании вышеприведенных положений и исследований в Рекомендациях приведены технологические требования к конструктивному легкому бетону и таблицы расчетных составов цементного (це-

мент марки "400") конструктивного легкого бетона марок М150, М200 и М250 на пористом гравии (керамзит $\gamma_{нас}$ "400", "600") или пористом щебне (шлаковая пемза $\gamma_{нас}$ "800") и кварцевом песке ($\gamma_{нас}$ 1600) для смесей, формуемых в горизонтальном положении на виброплощадке при виброукладываемости (жесткости) 20 с или в кассетных машинах при подвижности 6–8 или 8–10 см.

Используя таблицы, можно простым опытом уточнить расход цемента и установить расход воды для любого варьируемого значения показателя гранулометрии n и агрегатно-структурного фактора $\frac{M}{M+K}$. При выборе варианта структуры представляется возможность по таблицам предварительно определить значение $\frac{R}{\gamma}$ коэффициента конструктивного качества и отношения $\frac{E}{\gamma}$, характеризующего звукоизоляцию. Следует установить, что эффективность значений $\frac{R}{\gamma}$ и $\frac{E}{\gamma}$ в большой степени зависят от чистоты и модуля крупности песка.

В таблицах показаны значения, характерные для москворецкого песка среднего качества ($M_{кр} \geq 2$).

1.10. Рекомендации распространяются на легкий бетон на всех видах пористых заполнителей – керамзитобетон, шунгизитобетон, шлакопемзовый бетон, шлакобетон на гранулированном металлургическом и термофосфорном шлаках, шлакобетон на топливном шлаке, аглопоритобетон, туфобетон, пемзобетон и шлакобетон на вулканических природных заполнителях, а также на пористом известняке.

1.11. Конструктивный бетон должен с заданной надежностью, при наименьших затратах трудовых и материальных ресурсов обеспечивать все предъявляемые к конструкции нормативные показатели эксплуатационных требований, основными из которых являются: звукоизоляции воздушного шума, звукоизоляция ударного шума, прочность, деформативность, выносливость, объемная плотность. Эти требования обеспечиваются целенаправленными мероприятиями по совершенствованию составов, технологических методов и режимов производства легкобетонной смеси и панельных конструкций, а также строгим производственным контролем качества и однородности легкого бетона в конструктивных элементах.

1.12. В типовых рабочих проектах и в альбомах типовых конструкций и деталей жилых зданий должны быть приведены таблицы стандартных характеристик крупных и мелких пористых заполнителей, легкого бетона и соответствующие варианты конструктивных деталей с использованием данных настоящих Рекомендаций.

2. ТРЕБОВАНИЯ К КОНСТРУКТИВНОМУ ЛЕГКОМУ БЕТОНУ

2.1. В зависимости от вида панельной конструкции предназначаемый для ее изготовления конструктивный легкий бетон должен отвечать различным требованиям (табл. 2).

Для внутренних несущих и ограждающих конструкций – внутренних межквартирных и межкомнатных стен, для несущей части междуэтажных перекрытий, а также для стен лестничных клеток размеры толщины ограждения определяются требованием изоляции воздушного звука (СНиП II-12-77, п. 6.5, табл. 7).

Таблица 2

Классификация исходных данных конструктивного легкого бетона

№ поз.	Наименование классификационного признака	Признаки, разновидности и численные значения	
1	2	3	
1	Вид пористого заполнителя	1.1. Гравий: керамзит, аглопоритовый, зольный, шунгизит, шлакопемзовый, аэрит, трепельный	1.2. Щебень: шлаковая пемза, аглопорит, гранулированный доменный и термофосфорный шлак, вулканический шлак, туф вулканический, пемза вулканическая, известняк пористый
2	Насыпная плотность крупного заполнителя, кг/м^3	400, 500, 600, 700, 800	500, 600, 700, 800, 900
3	Вид мелкого заполнителя	Тяжелый песок для бетонных работ, пористый песок	Тяжелый песок, шлакопемзовый, аглопоритовый, гранщлак, вулканический
4	Марка портландцемента	300, 400, 500	

Продолжение табл. 2

1	2	3	
5	Объемная плотность бетона (высушенного), кг/м^3	1000–1800	1400–2000
6.	Характеристика структуры:		
	6.1. Предельная крупность	ПК 10 мм	ПК 20 мм
	6.2. Показатель гранулометрии при концентрации крупного заполнителя	малой	
		0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8	0,28; 0,3; 0,4
		средней	
		0,9; 1; 1,1; 1,32; 1,51	0,5; 0,6; 0,7; 0,8
		большой	
		1,74; 2; 2,32	0,9; 1; 1,1
	6.3. Агрегатно-структурный фактор М/М+К при концентрации крупного заполнителя	малой	
		0,76; 0,71; 0,66; 0,61; 0,57	0,7; 0,66; 0,57
		средней	
		0,53; 0,5; 0,47; 0,4; 0,35	0,5; 0,43; 0,38; 0,33
		большой	
		0,3; 0,25; 0,2	0,29; 0,25; 0,22
	Виброукладываемость	Жесткость 20 с	Подвижность ОК 8–10 см

2.2. Основным требованием к бетону звукоизолирующих воздушный шум акустически однородных панельных конструкций, а также к бетону несущей части акустически неоднородных панельных конст-

рукций является максимальное значение показателя

$$K = 2{,}26\sqrt{\frac{E}{\gamma_э}}$$

при заданном значении предела прочности при сжатии R, определяемом по несущей способности и ограничиваемым маркам и М100, М150, М200 и М250 (табл. 3).

2.3. Структура звукоизолирующего воздушный шум конструктивного легкого бетона должна быть слитной (плотной) с полным заполнителем межзернового пространства крупных заполнителей растворной частью.

Для достижения наибольшего значения $\frac{E}{\gamma}$ следует применять легкий бетон на плотном песке (ГОСТ 10268-80) с малой концентрацией пористого крупного заполнителя фракции 5-10 мм, т.е. при значении $\frac{M}{M+K}$ в пределах 0,71-0,66.

Чем прочнее и дешевле пористый заполнитель, тем меньше значение $\frac{M}{M+K}$ можно допустить.

При малой прочности заполнителя рекомендуется предельная крупность 10 мм, при повышенной прочности назначается предельная крупность заполнителя бетона 20 мм.

При всех условиях структура конструктивного легкого бетона должна быть однородной, с равномерным распределением зерен пористого заполнителя в мелкозернистой растворной части.

2.4. Для конструктивного легкого бетона несущих конструкций (незвукоизолирующих) основным требованием является наибольшее значение коэффициента конструктивного качества:

$$K_к = \frac{R}{\gamma} \cdot 10^4 \text{ (м)},$$

где R - марочная прочность при сжатии, кг/см^2;

γ - объемная плотность в высушенном состоянии, кг/м^3 (см. табл. 3).

2.5. Структура конструктивного легкого бетона общего назначения в обычных условиях строительства для панельных конструкций стен подвала, электропанелей, вентиляционных блоков, шахт лифтов, лестничных площадок, лестничных маршей, внутренних стен теплого чердака, железобетонных элементов каркаса должна обеспечивать заданную наименьшую прочность при наименьшей объемной плот-

ности. В этом случае целесообразна замена в шлакопемзобетоне и аглопоритобетоне части плотного песка пористым песком. В конструктивном керамзитобетоне применение керамзитового песка нецелесообразно из-за его высокой стоимости, но возможна добавка золы ТЭС (на 1 м^3 бетона расходуется 100–150 кг).

Таблица 3

Характер зависимости толщины акустически однородного ограждения от характеристики $\frac{E}{\gamma}$ легкого бетона, обеспечивающего индекс изоляции воздушного звука 50 дБ

Марка бетона R	$E \cdot 10^{-3}$	γ, кг/м^3	$\frac{R}{\gamma}$	$\frac{E}{\gamma}$	$\sqrt{\frac{E}{\gamma}}$	Толщина ограждения, м	
						по расчету СНиПа	по измерениям в натуре
150	140	1800	830	77,7	8,81	0,202	0,182
150	150	1925	780	78	8,83	0,204	0,181
200	180	1790	1115	100	10	0,179	0,163
200	190	1815	1100	104,5	10,22	0,176	0,158
250	200	1770	1410	113	10,63	0,169	0,152
250	225	1830	1370	122,5	11,07	0,162	0,146
150	190	2500	600	76	–	0,160	–

Примечание. Конструктивный легкий бетон на данном пористом заполнителе при данном значении $\frac{M}{M+K}$ характеризуется предельной прочностью, которая не может быть превышена увеличением расхода цемента, а также прочности растворной части бетона. Однако с увеличением значения $\frac{M}{M+K}$ предельная прочность повышается. С увеличением возраста также увеличивается предельная прочность бетона.

3. ТРЕБОВАНИЯ К МАТЕРИАЛАМ ДЛЯ КОНСТРУКТИВНОГО ЛЕГКОГО БЕТОНА

3.1. Пористые заполнители должны, как правило, быть местного производства и отвечать требованиям действующих ГОСТов и ТУ.

3.2. При возможности выбора следует предпочитать щебневидные, повышенной прочности при насыпной плотности не более 800 кг/м^3 или гравий (керамзит) с насыпной плотностью не более 600 кг/м^3.

3.3. Пористый щебень или гравий должен быть фракции 5–10 мм. При необходимости допускается применять дробленый керамзит фракции 5–10 мм.

3.4. При прочности гравия более 20 кг/см^2 и щебня более 10 кг/см^2 в стандартной смеси (40% фракции 5–10 + 60% фракции 10–20) допускается применение предельной крупности бетонной смеси 20 мм при условии дозирования раздельно по фракциям 5–10 и 10–20 по насыпным объемам при расходе на 1 м^3 бетона гравия 5–10 мм не менее 100 л или щебня 5–10 мм не менее 150 л.

Применение нефракционированной смеси 5–20 мм не допускается.

3.5. Песок должен отвечать требованиям ГОСТ 10268–80 "Заполнители для тяжелого бетона. Технические требования". Модуль крупности песка должен быть в пределах 2,1–3,25 и по гранулометрическому составу отвечать нормативным пределам кривых просеивания.

С разрешения вышестоящей организации допускается применение песка с меньшим модулем крупности, что повлечет увеличение расхода цемента или других видов песка при условии обеспечения заданных значений R и $\frac{E}{\gamma}$ или соответствующего утолщения ограждений по согласованию с авторским надзором.

3.6. Пористый песок шлакопемзовый, аглопоритовый, гранулированного доменного и термофосфорного шлака, топливного шлака, природных пористых пород может полностью или частично применяться в конструктивном легком бетоне общего назначения при условиях соответствия требованиям ГОСТов и ТУ и технико-экономической целесообразности.

Применение керамзитового дробленого или обжигового песка в конструктивном легком бетоне по техническим и экономическим соображениям не рекомендуется.*

3.7. В качестве вяжущего следует применять портландцемент или шлакопортландцемент, отвечающий ГОСТ 10178–76, марки "400", "500".

---

* Методика определения и оценки основных характеристик пористого песка приведена в прилож. 2 "Рекомендаций по технологии заводского производства и контролю качества легкого бетона и крупнопанельных конструкций жилых зданий". М., ЦНИИЭП жилища, 1980.

3.8. Порошковые или водорастворимые добавки для пластификации бетонной смеси, ускорения твердения, экономии цемента, нерасслаиваемости смеси и др. допускаются к применению лишь после проведения специального исследования влияния на технологические и эксплуатационные характеристики бетона в конкретных данных условиях. Воздухововлечение свыше 5% не допускается.

3.9. Стальная арматура, арматурные изделия и закладные детали должны отвечать требованиям проекта и утвержденных технических условий.

3.10. Все материалы и изделия, применяемые в панельных несущих, ограждающих и доборных конструкциях, подлежат систематическому входному лабораторному контролю до их применения в дело в соответствии с ОСТ и ТУ предприятия.

При приемке пористых заполнителей необходимо руководствоваться техническими условиями, устанавливаемыми обязательно в форме соглашения между поставщиком и заказчиком.

В отношении пористых заполнителей соглашением предусматривается обязательность по объемам и срокам поставки чистых фракций заполнителя определенной марки насыпной плотности и прочности.

Браковочный максимум насыпной плотности ($R_{бр}$) устанавливается для каждой партии:

$$\gamma_{бр} \leqslant \gamma_{согл.} + 1{,}7 \frac{\sigma_\gamma}{\sqrt{n}},$$

где $\gamma_{согл.}$ – насыпная плотность по соглашению при восьми пробах;

$\sigma_\gamma = \sqrt{\frac{\Sigma(\gamma_i - \gamma_{согл})^2}{n-1}}$ – среднее квадратичное отклонение.

Для прочности по цилиндру R:

$$R_{бр} = R_{согл.} - \frac{2\sigma_R}{\sqrt{n-1}},$$

где $\sigma_R = \sqrt{\frac{\Sigma(R_i - R_{согл.})^2}{n-1}}$.

3.11. Каждый вид материала, предназначенный к применению в конструктивном бетоне, должен систематически калькулироваться по себестоимости франко-домостроительного предприятия.

По отчетным данным о себестоимости цемента ($С_Ц$, руб./кг), мелкого заполнителя ($С_М$, руб./м^3), крупного заполнителя ($С_К$, руб./м^3) и добавки (в пересчете на 100-процентную концентрацию) ($С_Д$, руб./кг) можно рассчитать вариантно состав конструктивного легкого бетона наименьшей материалоемкости, т.е. наименьшую стоимость материалов на 1 м^3 бетона и на 1 м^2 панельной конструкции.

4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВА КОНСТРУКТИВНОГО ЛЕГКОГО БЕТОНА

4.1. Проектирование состава конструктивного легкого бетона связано с обоснованием варианта номенклатуры составляющих и расчетом их расходов на 1 м^3 бетона в конструкции с учетом изменчивости и определенной степени обеспеченности совокупности требуемых проектных показателей при наименьшей затрате ресурсов.

4.2. На стадии организации индустриального домостроительного производства задача, отмеченная в п. 4.1, решается при разработке технико-экономического обоснования (ТЭО) архитектурно-конструктивной технологической системы (АКТС) на основе изучения и экспериментально-расчетного варьирования составов бетона на местных сырьевых и материальных ресурсах.

4.3. На стадии действующего заводского домостроительного производства задача (п. 4.1) решается при привязке типовых проектов и разработке технических условий (ТУ) и ОСТ предприятия на производство панельных и доборных элементов конструкций, а также при текущем совершенствовании конструкций, технологии и экономики производства.

4.4. Для проектирования состава конструктивного легкого бетона необходимо подготовить и обосновать исходные данные, учитывая что:

1) Бетон во внутренних панельных конструкциях в превалирующей части имеет конструктивно-звукоизоляционное назначение; может оказаться целесообразным из бетона конструктивно-звукоизоляционного назначения выполнять также и элементы общего конструктивного назначения. Вопрос о выборе марки бетона решается проектной организацией совместно с производственной при привязке проекта.

2) Марка прочности назначается, как правило, по несущей способности самой нагруженной панели первого этажа в 5-этажном здании, самой нагруженной панели первого и четвертого этажей 9-этажного здания и по разным уровням нагрузок в домах повышенной этажности.

В домах повышенной этажности целесообразно все внутренние стены нижнего яруса (4-5 этажей) выполнять одинаковой толщины по расчету межквартирной звукоизоляции с тем, чтобы поярусно не менять марку прочности бетона.

При привязке типовых проектов в зависимости от технико-экономических показателей может оказаться выгодным повысить марку конструктивного легкого бетона с тем, чтобы увеличить модуль упругости и достигнуть нормативной звукоизоляции при меньшей толщине межквартирных панелей (см. табл. 3).

3) При выборе вида пористого заполнителя следует отдавать преимущество местному, наиболее прочному при наименьшей плотности, т.е. при $(K_к)_{макс} \gg \frac{R}{\delta} \cdot 10^4$ м при его наименьшей себестоимости франко-завод КПД.

Для окончательного выбора пористого заполнителя, если таковой возможен, необходимо провести исследование не только $(K_к)$макс, но и по $\left(\frac{R}{\delta}\right)_{макс}$ и по себестоимости.

4) Для конструктивно-звукоизоляционного легкого бетона не следует добиваться слишком малой насыпной плотности. Желательна наименьшая деформативность пористого заполнителя.

5) В качестве мелкого заполнителя, как правило, должен назначаться кварцевый песок по ГОСТ 10268-80 при модуле крупности 2,1-3,25. Применение мелкого песка сопряжено с увеличением расхода цемента и уменьшением модуля упругости бетона.

При наличии попутно получаемого песка, например, шлакопемзового, аглопоритового или природного, возможно частичное его использование при соответствующем обосновании без ущерба для звукоизоляционной и несущей способности.

6) Объемная плотность (в высушенном состоянии) конструктивного керамзитобетона должна соответствовать таблицам 4.1-4.4 для конструктивного легкого бетона, но не менее 1600 кг/м^3.

Предварительно объемную плотность вычисляют по таблицам с использованием при необходимости интерполяции.

7) Структуру конструктивного бетона необходимо назначать по технико-экономическим расчетам и по таблицам 4.1-4.4.

Следует стремиться к минимальной концентрации керамзита фракции 5-10 в керамзитобетоне. В большинстве случаев оказывается наиболее экономичным керамзитобетон со структурными характеристиками: ПК 10, $\eta = 0{,}5; \frac{M}{M+K} = 0{,}71$.

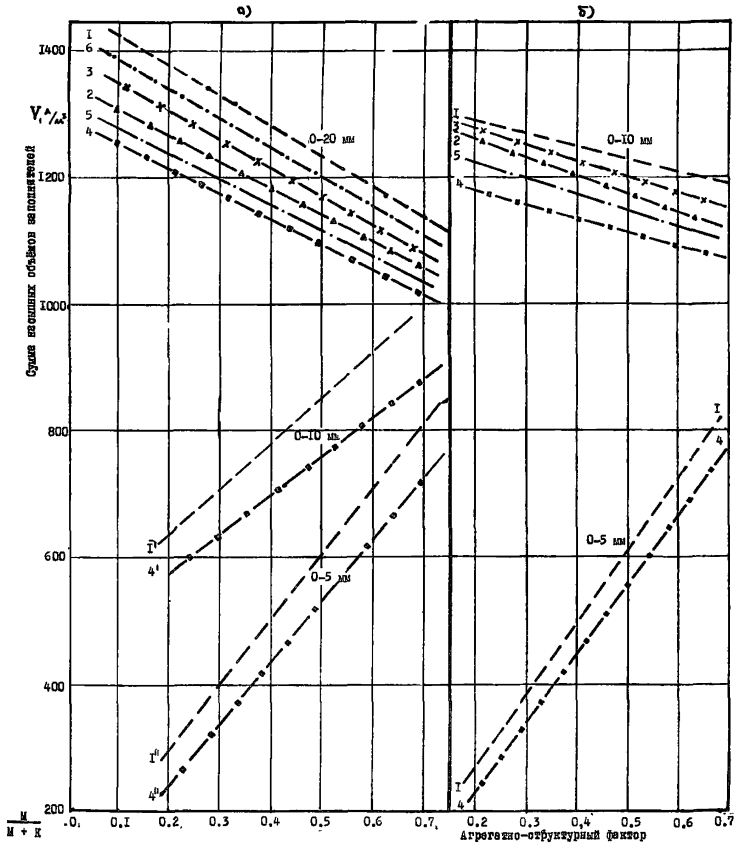


Рис. 1. Зависимость пофракционных расходов (по насыпным объемам) пористого гравия керамзита марки "400" и кварцевого песка от аггрегатно-структурного фактора M/M+K при марках бетона М150, М200, М250: а – предельной крупности 20 мм; б – предельной крупности 10 мм; 1 – М150, виброукладываемость 20с; 2 – М250, виброукладываемость 20с; 3 – М150, ОК 6–8 см; 4 – М250, ОК 6–8 см; 5 – М200, ОК 6–8 см; 1^{I}, 4^{I} – М200, виброукладываемость 20с; фракции 0–10 мм; 1^{II}, 4^{II} – то же, фракции 0–5 мм.

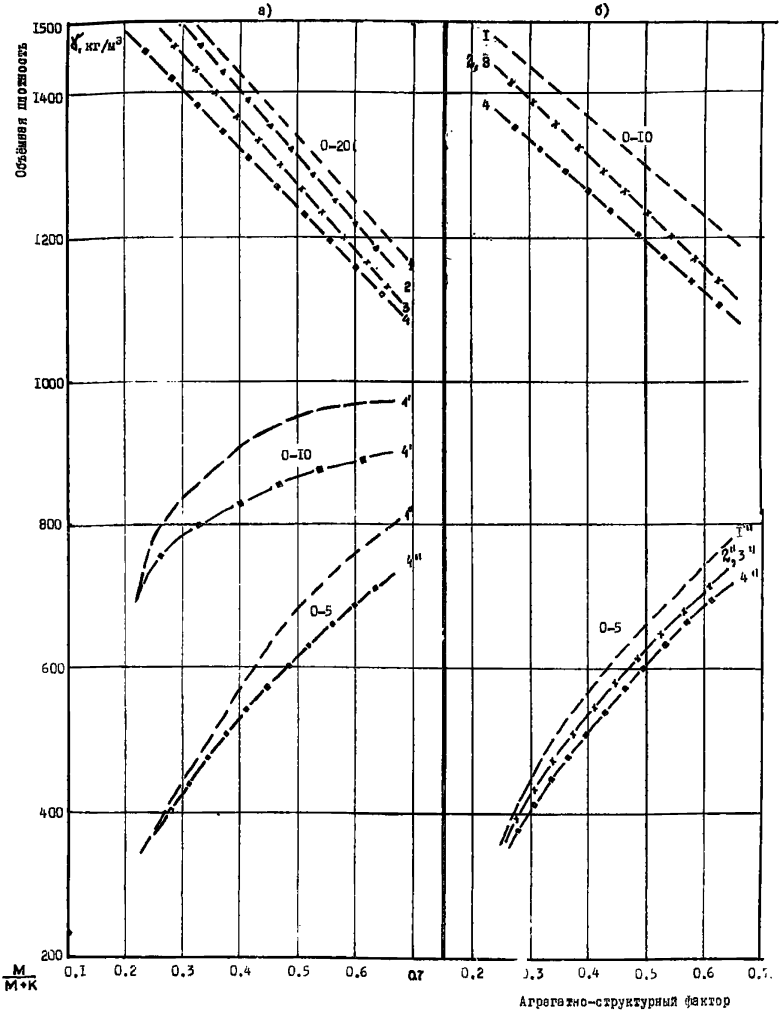


Рис. 2. Зависимость пофракционных расходов пористого щебня шлаковой пемзы и кварцевого песка от агрегатно-структурного фактора М/М+К: а – предельной крупности 20 мм; б – то же, 10 мм; 1 – виброукладываемость 20с, расход цемента 300 кг/м³; 2 – то же, расход цемента 400 кг/м³; 3 – подвижность ОК 8–10 см, расход цемента 300 кг/м³; 4 – то же, расход цемента 400 кг/м³; 1', 4' – расход щебня фракции 0–10 мм; 1'', 4'' – то же, фракции 0–5 мм.

Для шлакопемзобетона и аглопоритобетона при формовании в горизонтальном положении возможна структура с повышенной концентрацией крупного заполнителя при значениях $\frac{M}{M+K}$ = 0,25÷0,5; при кассетном формовании предпочтительна структура ПК 10,

$$\text{П} = 0{,}5;\ \frac{M}{M+K} = 0{,}71.$$

8) Формование предпочтительно производить горизонтальным способом или с помощью подвижных щитов.

При горизонтальном способе формования и виброукладываемости бетонной смеси менее 20 с пригрузка не требуется, а при виброукладываемости более 20 с необходима пригрузка при виброуплотнении.

При кассетном формовании в зависимости от расхода цемента может наблюдаться водоотделение, которое удается устранить добавлением 10% пористого песка или 100–150 кг/м^3 золы ТЭС.

4.5. Исходные составы конструктивного легкого бетона на керамзитовом, шунгизитовом и других видах пористого гравия при предельной крупности гравия 10 мм и тяжелом песке следует принимать по таблице 4.1 и при предельной крупности гравия 20 мм – по табл. 4.2 или рис. 1.

4.6. Исходные составы конструктивного легкого бетона на шлаковой пемзе, аглопоритовом щебне, дробленом керамзитовом щебне, щебне природных пористых заполнителей на тяжелом песке при предельной крупности щебня 10 мм следует принимать по табл. 4.3 и при предельной крупности 20 мм – по табл. 4.4 или по рис. 2.

4.7. Выбор структурных характеристик состава конструктивного легкого бетона производится по значениям показателя гранулометрии П и агрегатно-структурного фактора $\frac{M}{M+K}$. Для несущих и звукоизолирующих панельных конструкций из керамзитобетона принимается $\frac{M}{M+K}$ = 0,66–0,71 в качестве исходного состава бетона. При пористом щебне выбор структуры зависит от технико-экономических факторов.

4.8. В зависимости от имеющегося формовочного оборудования назначается показатель виброукладываемости или подвижности при условии обеспечения предельного уплотнения легкобетонной смеси при формовании заданным способом и режимом и при оптимальном расходе воды затворения. Исходный расход цемента определяется по рисункам 3–6 .

Исходный расход воды принимается по формуле:

$$В_{исх} = W_к \cdot К + W_п \cdot М + НГ \cdot Ц \quad л/м^3,$$

где $W_к$ – водопоглощение за 15 мин крупных заполнителей, $л/м^3$;

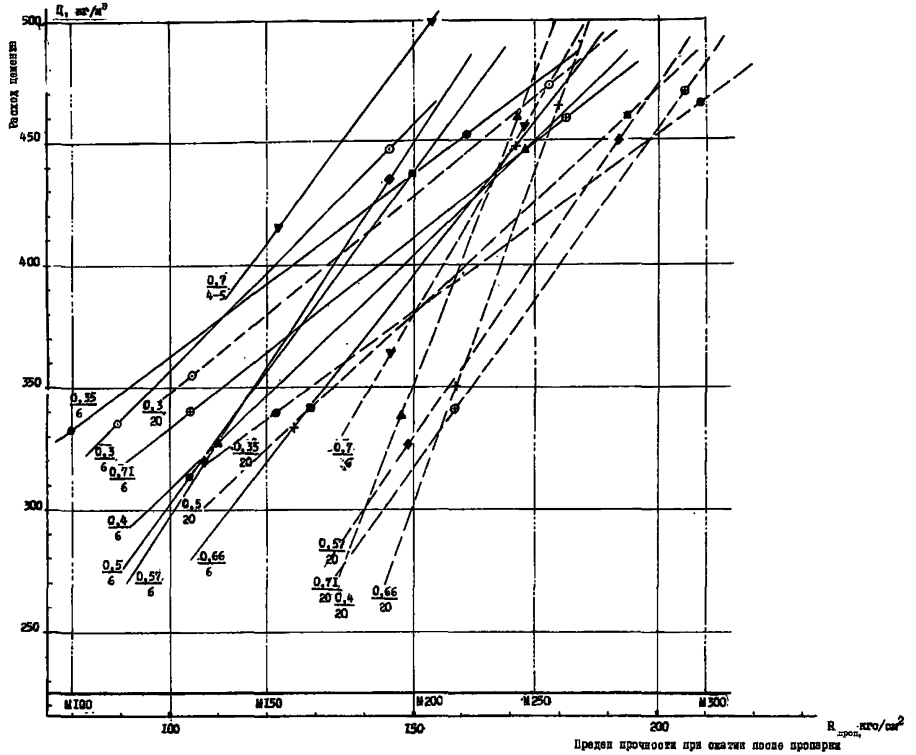


Рис. 3. Зависимость прочности конструктивного керамзитобетона от агрегатно-структурного фактора, расхода цемента и удобоукладываемости при предельной крупности 10 мм (в числителе М/М+К, в знаменателе виброукладываемость 20с или подвижность ОК)

▲ ◆ ⊙ ⊗ ● ■ X – расход цемента данного состава

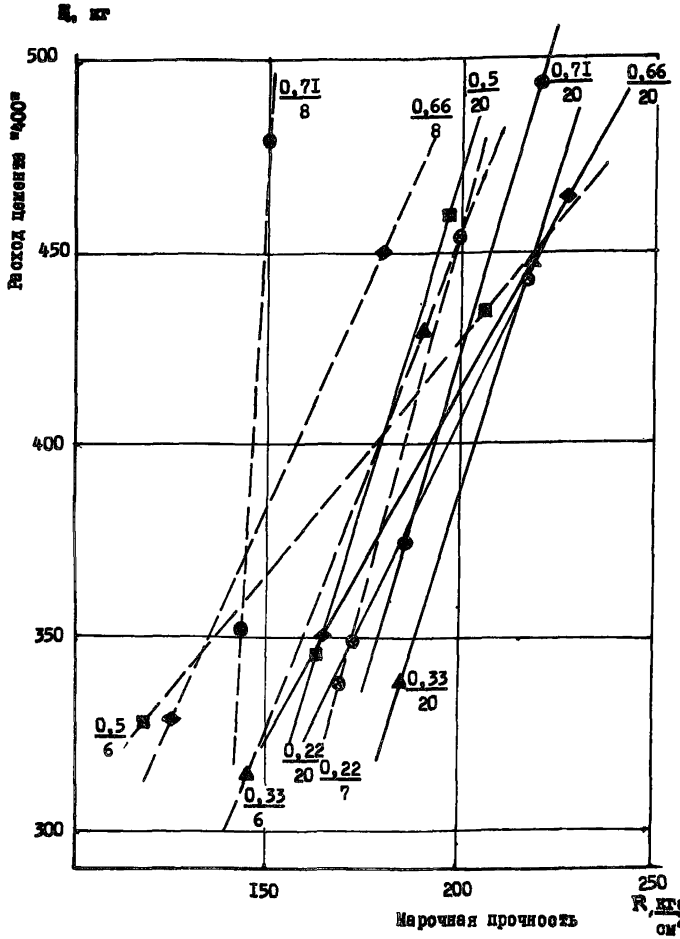


Рис. 4. Зависимость прочности и расхода цемента конструктивного керамзитобетона от агрегатно-структурного фактора М/М+К, ПК20 мм (керамзит лианозовский, песок москворецкий); сплошные линии – виброукладываемость 20с, пунктирные – подвижность ОК; в числителе М/М+К, в знаменателе виброукладываемость 20с или ОК 6-8 см
● ■ ⊗ ◆ ▲ – расход цемента данного состава бетона

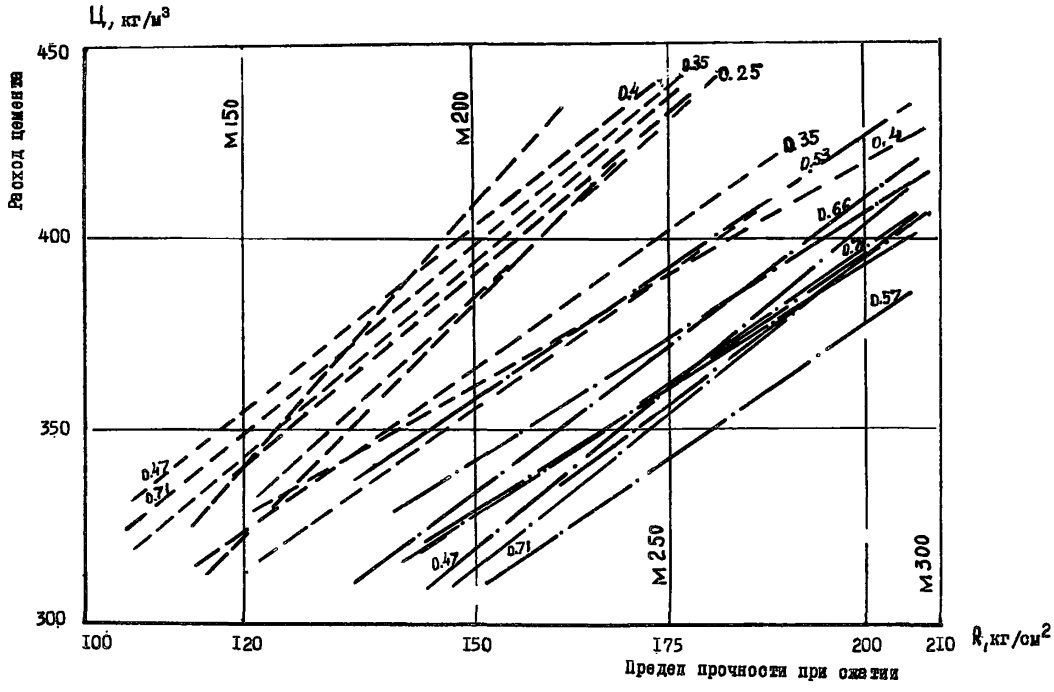


Рис. 5. Зависимость прочности и плотности шлакопемзобетона предельной крупности 10 мм от стуктурного фактора М/М+К, удобоукладываемости и расхода цемента
— · — By 20с, — — — ОК 8–10 см

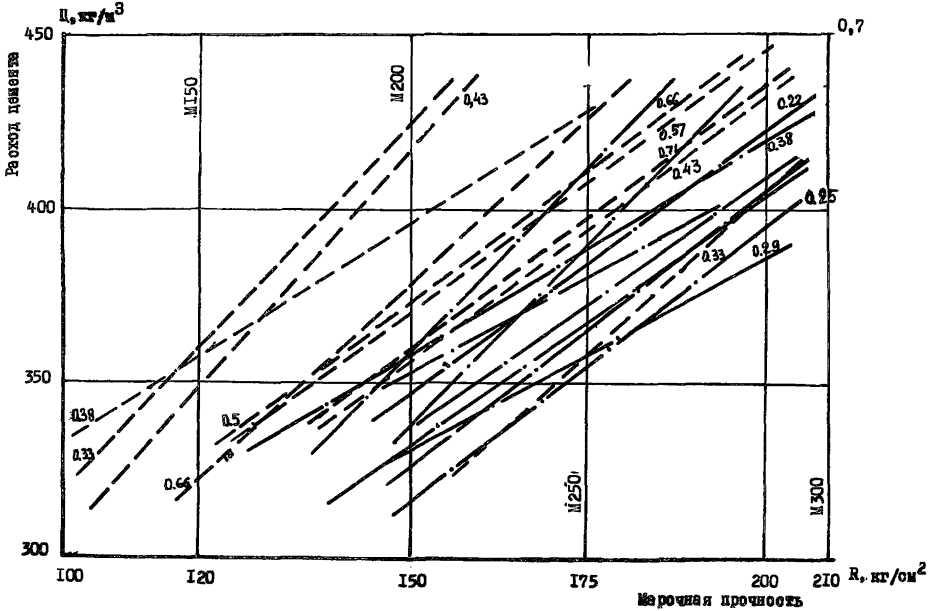


Рис. 6. Зависимость прочности и плотности конструктивного шлакопемзобетона предельной крупности 20 мм от стуктурного фактора М/М+К, удобоукладываемости и расхода цемента —·— Ву 20с, – – – ОК 6–8 см

$W_п$ – водопотребность песка, л/м^3;

НГ – нормальная густота цементного теста в долях единицы;

Ц – расход цемента, кг/м^3.

Для исходного состава бетона расход составляющих, представленный в таблицах 4.1–4.4, принимается по рубрикам "Кассетное формование" или "Горизонтальное формование" с расходом воды по пп. 4.8 и 5.6.

4.9. При формовании на кассетно-конвейерной линии, вибропрокатном стане, производственной вибрационной площадке, горизонтальных стендах с односторонним виброуплотнением или пригрузом посредством вибронасадки принимается исходный состав при виброукладываемости 20 с.

При формовании на кассетных стендах в вертикальном положении принимается исходный состав с подвижностью по осадке стандартного конуса 6–8 см при пористом гравии или 8–10 см при пористом щебне.

4.10. После определения по таблицам 4.1 или 4.2 и пп. 4.3 и 4.4 исходного состава легкобетонной смеси для определения расхода воды затворения и уточнения расхода данного цемента, а следовательно, и расходов составляющих приступают к экспериментальной проверке состава бетона (прилож. 2).

5. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА И УСТАНОВЛЕНИЕ ИСХОДНОГО СОСТАВА КОНСТРУКТИВНОГО ЛЕГКОГО БЕТОНА

5.1. Для экспериментальной проверки состава конструктивного легкого бетона необходимо обеспечить возможность воспроизводимых опытов (прилож. 2).

5.2. Подготовка материалов заключается в отборе и усреднении пробы, рассеве, сушке и хранении заполнителей, отборе и хранении цемента и порошковых добавок, приготовлении и хранении рабочего раствора химических и поверхностно-активных добавок.

Объем пробы должен быть рассчитан с запасом на повторение (репликацию) и проверку результатов опытов в последующем.

5.3. Оборудование и приборы для дозирования составляющих бетона должны обеспечивать возможность отмеривания крупных пористых заполнителей и песка по насыпному объему с точностью до 10 мл/л, а также по весу с точностью 10 г/кг, цемента и порошковых добавок по весу с точностью 1 г/кг, воды по объему с точностью 10 мл/л и жидких добавок с точностью 1 г/кг.

Таблица 4.1

Конструктивный керамзитобетон предельной крупностью 10 мм на тяжелом песке и портландцементе марки "400"

Показатель гранулометрии, n	Агрегатно-структурный фактор М/М+К	Расходы заполнителей (л/м³) по фракциям для марок бетона										Расходы цемента (кг/м³) для марок бетона						Объемные веса (кг/м³) керамзитобетона высушенного для марок бетона					
		М150			М200			М250				М150		М200		М250		М150		М200		М250	
		0–5 М	5–10 К	М+К	0–5 М	5–10 К	М+К	0–5 М	5–10 К	10–20	М+К	марки 400	600	400	600	400	600	керамзита 400	600	400	600	400	600
Виброукладываемость 20 с, горизонтальное формование																							
1,74	0,3	380	890	1270	370	865	1235	370	860		1230	375	250	430	300	450	350	1395	1430	1435	1450	1457	1510
1,51	0,35	440	820	1260	430	800	1230	425	790		1215	365	250	385	300	450	350	1455	1480	1455	1515	1515	1560
1,32	0,4	500	750	1250	490	735	1225	480	720		1200	350	250	380	300	450	325	1500	1540	1520	1570	1580	1575
1,10	0,47	585	655	1240	570	640	1210	555	630		1185	335	250	375	300	425	325	1590	1620	1605	1640	1630	1645
1	0,5	615	615	1230	600	600	1200	585	590		1175	325	275	375	300	425	325	1605	1670	1635	1665	1665	1670
0,9	0,53	645	575	1220	636	560	1195	620	545		1165	315	285	350	325	400	325	1620	1700	1650	1725	1670	1695
0,8	0,57	690	525	1215	675	505	1180	660	495		1155	300	300	350	325	400	325	1655	1760	1685	1755	1715	1730
0,7	0,61	735	470	1205	715	455	1170	690	445		1135	300	300	325	275	375	325	1710	1800	1705	1725	1710	1740
0,6	0,66	790	405	1195	765	395	1160	740	385		1125	285	315	300	275	350	325	1755	1870	1720	1770	1735	1785
0,5	0,71	840	345	1185	815	335	1150	790	325		1115	275	325	300	275	330	325	1800	1925	1790	1815	1770	1830
Подвижность ОК 6–8 см, кассетное формование																							
1,74	0,3	375	875	1250	360	840	1200	350	810		1160	395	275	450	300	500	400	1405	1440	1430	1420	1460	1505
1,51	0,35	435	870	1305	415	770	1185	400	745		1145	395	275	450	300	475	400	1500	1530	1490	1470	1490	1550
1,32	0,4	490	750	1220	470	700	1170	450	680		1130	390	275	450	325	450	375	1530	1550	1550	1550	1510	1560
1,10	0,47	565	640	1205	540	615	1155	525	595		1120	375	275	450	325	450	375	1590	1605	1625	1610	1600	1525
1	0,5	600	585	1185	570	570	1140	555	555		1110	375	275	450	350	500	450	1625	1625	1660	1655	1690	1745
0,9	0,53	635	560	1195	600	535	1135	590	520		1105	360	250	425	350	500	375	1655	1640	1675	1680	1720	1680
0,8	0,57	670	510	1180	645	485	1130	625	470		1095	360	250	425	400	500	375	1690	1665	1715	1780	1760	1710
0,7	0,61	715	460	1175	685	435	1120	665	425		1090	360	250	425	425	475	375	1740	1705	1765	1850	1780	1745
0,6	0,66	765	395	1160	730	380	1110	715	365		1080	375	250	400	450	460	375	1815	1750	1780	1920	1815	1790
0,5	0,71	815	335	1150	780	315	1095	755	310		1065	375	250	400	475	450	525	1865	1790	1830	1985	1855	2000

Таблица 4.2

Конструктивный керамзитобетон с предельной крупностью 20 мм на тяжелом песке и портландцементе марки "400"

№ поз.	Показатель гранулометрии $T_г$	Агрегатно-структурный фактор $\frac{М}{М+К}$	Расходы заполнителей по фракциям для марок М150: М 0–5	К 5–10	К 10–20	М + К	М200: М 0–5	К 5–10	К 10–20	М + К	М250: М 0–5	К 5–10	К 10–20	М + К	Расходы цемента для марок бетона: М150 (400)	М150 (600)	М200 (400)	М200 (600)	М250 (400)	М250 (600)	Объемные веса (кг/м³) керамзитобетона высушенного для марок бетона: М150 (400)	М150 (600)	М200 (400)	М200 (600)	М250 (400)	М250 (600)
															М150		М200		М250		М150		М200		М250	
															марки керамзита											
															400	600	400	600	400	600	400	600	400	600	400	600
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
			Виброукладываемость 20 с, горизонтальное формование																							
1	1,1	0,22	300	340	725	1365	295	330	705	1330	276	315	665	1256	290	250	380	300	510	320	1240	1405	1315	1440	1415	1400
2	1	0,25	340	335	675	1350	330	325	655	1310	310	305	625	1240	300	250	385	300	510	320	1295	1440	1360	1465	1455	1420
3	0,9	0,29	385	330	615	1330	375	320	600	1295	355	305	585	1225	310	250	410	320	510	350	1355	1475	1415	1520	1500	1495
4	0,8	0,33	430	315	565	1310	420	310	545	1275	400	290	520	1210	325	250	405	320	515	350	1415	1505	1485	1555	1560	1530
5	0,7	0,38	490	300	505	1295	475	290	490	1255	450	275	485	1190	340	250	415	320	520	350	1495	1555	1530	1595	1610	1570
6	0,6	0,43	545	280	440	1265	530	275	425	1230	500	260	405	1165	350	250	425	320	520	350	1560	1590	1620	1635	1650	1600
7	0,5	0,5	615	255	350	1220	600	250	345	1195	570	240	325	1135	360	250	425	300	520	350	1640	1695	1685	1660	1740	1655
8	0,4	0,57	680	220	295	1195	665	215	285	1165	630	205	275	1110	350	250	425	300	515	350	1690	1685	1760	1710	1790	1700
9	0,3	0,66	760	170	220	1150	740	170	215	1125	710	160	205	1075	325	250	400	300	510	350	1745	1735	1800	1760	1860	1760
10	0,28	0,71	800	140	190	1130	780	145	175	1100	745	135	170	1050	300	250	400	300	475	350	1760	1765	1840	1785	1860	1780
			Подвижность ОК 6–8 см, кассетное формование																							
11	1,1	0,22	285	320	685	1290	270	305	650	1225	265	300	635	1200	310	250	430	300	425	350	1215	1345	1310	1350	1290	1395
12	1	0,25	320	315	645	1280	300	300	610	1210	300	295	595	1190	320	260	440	310	450	350	1265	1390	1350	1380	1353	1415
13	0,9	0,29	365	310	580	1255	345	300	550	1195	340	290	545	1175	330	270	400	330	475	350	1320	1430	1350	1440	1425	1450
14	0,8	0,33	410	300	530	1240	390	285	505	1180	380	280	500	1160	340	280	450	340	475	325	1380	1480	1460	1490	1470	1450
15	0,7	0,38	465	280	475	1220	440	265	455	1160	435	260	445	1140	340	290	455	350	500	325	1440	1530	1530	1540	1560	1495
16	0,6	0,43	515	265	415	1195	490	250	400	1140	480	250	385	1115	350	290	460	350	500	300	1500	1565	1575	1575	1600	1500
17	0,5	0,5	585	245	335	1165	560	235	320	1115	545	230	315	1090	350	300	460	360	500	300	1570	1630	1650	1645	1670	1545
18	0,4	0,57	645	210	280	1135	620	200	265	1085	605	195	260	1060	325	275	450	325	500	300	1600	1640	1700	1640	1730	1590
19	0,3	0,66	720	165	210	1095	690	155	200	1045	680	155	195	1030	300	250	425	300	500	325	1645	1665	1730	1665	1800	1670
20	0,28	0,71	760	135	175	1070	730	135	165	1030	715	130	160	1005	275	250	400	300	500	325	1655	1690	1745	1700	1845	1700

Таблица 4.3

Конструктивный шлакопемзобетон предельной крупностью 20 мм на тяжелом песке и портландцементе марки "400"

Показатель гранулометрии n	Агрегатно-структурный фактор $\frac{M}{M+K}$	Расходы заполнителей по фракциям для марок									Объемный вес бетона в сухом состоянии		
		М150			М200			М250					
		5–10 л	песок, л	цемент, кг	5–10 л	песок, л	цемент, кг	5–10 л	песок, л	цемент, кг	М150	М200	М250
Виброукладываемость 20 с, горизонтальное формование													
0,5	0,71	330	820	290	310	770	335	320	750	360	1825	1785	1795
0,6	0,66	400	785	285	380	735	330	370	715	360	1820	1780	1775
0,7	0,61	475	750	280	450	705	330	435	680	360	1795	1780	1765
0,8	0,57	535	710	280	505	675	330	485	660	360	1790	1770	1770
0,9	0,53	600	680	280	570	645	325	555	620	360	1785	1770	1755
1	0,5	650	650	280	615	620	325	595	600	360	1770	1755	1750
1,1	0,47	700	620	280	670	595	325	640	575	360	1760	1750	1745
1,32	0,4	815	545	285	785	525	330	745	505	360	1730	1730	1705
1,51	0,35	910	490	290	880	470	330	840	460	365	1715	1710	1705
1,74	0,30	1000	440	295	970	420	340	935	400	370	1700	1700	1680
2	0,25	1110	370	300	1070	360	360	1030	340	380	1675	1700	1665
Подвижность ОК 8–10 см, кассетное формование													
0,5	0,71	310	770	335	310	760	395	305	745	440	1785	1845	1870
0,6	0,66	380	735	330	370	715	395	370	715	435	1780	1815	1865
0,7	0,61	450	705	330	435	680	390	435	680	435	1775	1800	1850
0,8	0,57	505	675	330	485	660	380	490	650	430	1775	1790	1835
0,9	0,53	570	645	325	545	620	380	555	625	430	1765	1775	1840
1	0,5	615	620	325	595	600	380	595	600	430	1760	1775	1830
1,1	0,47	670	595	325	640	575	380	645	570	440	1755	1770	1825
1,32	0,4	785	525	325	755	505	385	760	510	440	1725	1745	1815
1,51	0,35	880	470	330	840	460	385	845	455	440	1710	1730	1785
1,74	0,30	970	420	330	935	400	390	935	400	445	1680	1715	1776
2	0,25	1070	360	360	1030	340	390	1025	345	450	1700	1675	1745

Таблица 4.4

Конструктивный шлакопемзобетон с предельной крупностью 20 мм на тяжелом песке и портландцементе марки 400

Показатель грануло-метрии n	Агрегатно-структурный фактор $\frac{М}{М+К}$	Расходы заполнителей по фракциям для марок									Расход цемента для марок бетона			Объемные веса (кг/м^3) шлакопемзобетона высушенного для марок		
		М150			М200			М250			М150, кг	М200, кг	М250, кг	М150	М200	М250
		0–5	5–10	10–20	0–5	5–10	10–20	0–5	5–10	10–20						
		Виброукладываемость 20 с, горизонтальное формование														
	0,71	825	150	180	790	145	175	765	145	170	300	360	430	1845	1850	1900
0,3	0,66	790	180	230	770	175	220	745	170	215	295	355	420	1845	1870	1900
0,4	0,57	735	240	320	715	225	310	690	225	295	290	350	415	1855	1875	1900
0,5	0,50	670	280	390	650	270	380	635	265	370	285	350	410	1820	1845	1885
0,6	0,43	600	315	490	590	305	480	575	295	465	285	350	410	1805	1845	1875
0,7	0,38	550	300	560	535	325	550	525	315	550	285	355	415	1775	1830	1875
0,8	0,33	490	360	640	485	350	620	470	345	610	285	355	420	1765	1810	1855
0,9	0,29	450	385	710	435	370	695	425	365	670	290	360	425	1775	1810	1845
1	0,25	395	400	780	385	380	775	380	370	750	290	360	425	1745	1790	1815
		Подвижность ОК 8–10 см, кассетное формование														
	0,71	765	145	170	765	140	170	765	140	170	320	390	450	1770	1845	1915
0,3	0,66	745	150	230	740	165	215	735	165	210	320	390	445	1780	1850	1900
0,4	0,57	690	205	315	680	220	290	680	220	290	320	390	445	1695	1815	1915
0,5	0,50	635	260	370	620	260	360	610	255	355	320	395	450	1780	1850	1880
0,6	0,43	575	295	460	565	300	475	555	285	450	320	400	455	1765	1855	1880
0,7	0,38	525	315	540	515	310	525	505	305	520	320	405	460	1760	1830	1870
0,8	0,33	470	340	610	455	330	585	455	330	595	325	410	465	1745	1790	1840
0,9	0,29	425	365	670	415	355	665	410	350	650	330	415	465	1735	1805	1840

5.4. Перемешивание производить в механической мешалке принудительного перемешивания (типа СО 46а 65 л с укреплением на лопастях полос резиновой ленты, предотвращающей разрушение гранул и прилипание растворной части к поверхности кожуха смесителя). Перемешивание смеси вручную в противне не допускается.

5.5. Для подбора расхода воды изготовляется замес – 12 л по составу, указанному в таблицах, с дозированием пористого заполнителя (высушенного) по насыпному объему ($V_к$), с обязательным взвешиванием отдельными чистыми фракциями ($g_к$), а также песка, высушенного по насыпному объему ($V_м$), с взвешиванием ($g_м$) цемента ($Ц_м$) по весу воды ($в$) мерным цилиндром.

5.6. Сначала в замес вводится исходный расход воды. После перемешивания в течение 3 мин и через 15 мин после окончания перемешивания формуют заданным способом и режимом один образец-кубик с ребром 15 см. Форма должна быть чистой, не смазанной, а лишь смоченной водой. Определяется и записывается объемная плотность свежеуложенной бетонной смеси. После этого смесь из формы выгружается в смеситель и добавляется вода в количестве 5% к исходному, производится перемешивание и без выдержки определяется объемная плотность свежеуплотненной смеси. Опыт повторяется до снижения объемной плотности или расслоения бетонной смеси (рис.7).

Требуемый при горизонтальном формовании расход воды соответствует наибольшей объемной плотности свежеотформованной смеси или же расходу воды начала расслоения, уменьшенному на 5%, если экстремум объемной плотности не достигнут.

5.7. При проектировании состава бетона для кассетного формования производят определение подвижности по осадке стандартного конуса. Опыт повторяется до получения требуемого значения осадки конуса.

5.8. Определив объемную плотность свежеуложенной смеси требуемым расходом воды γ кг/м^3 и зная суммарный вес замеса

$$G = g_к + g_м + Ц + в \qquad кг,$$

получим объем бетона в замесе $V_{су}$, л

$$V_{су} = \frac{G}{\gamma_{су}},$$

что позволяет определить фактический расход, составляющий по выходу бетона:

$$\bar{К} = \frac{К}{V_{су}} \quad л/м^3; \quad \bar{М} = \frac{М}{V_{су}} \quad л/м^3; \quad \bar{Ц} = \frac{Ц}{V_{су}} \quad кг/м^3;$$

$$В = \frac{в}{V_{су}} \quad л/м^3.$$

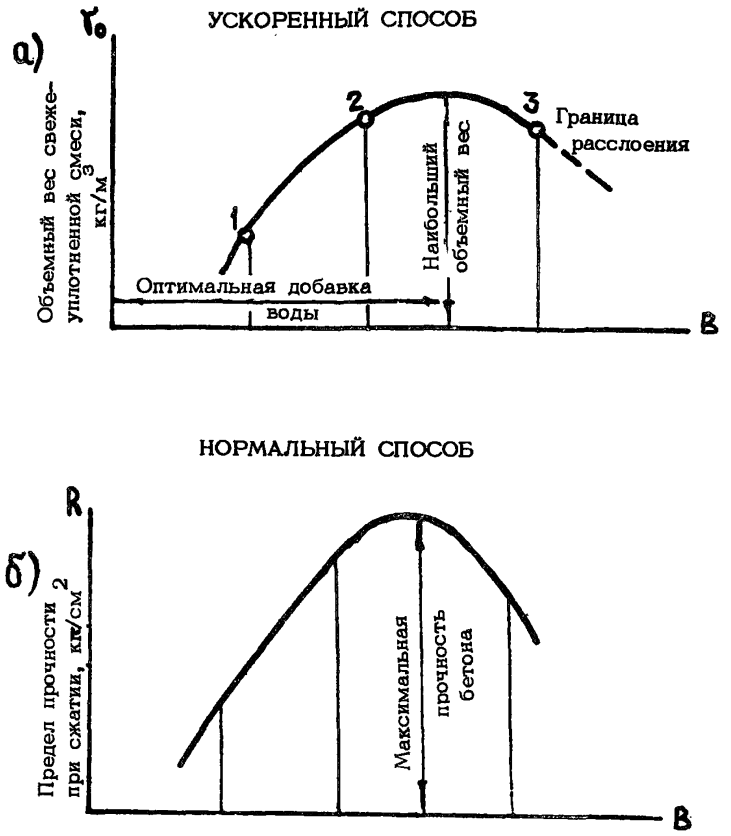


Рис. 7. Пример построения графиков для определения оптимального расхода воды: а – ускоренным способом; б – нормальным способом

5.9. По методике, изложенной в пп. 5.5–5.8, опыт повторяется, но с расходом составляющих, соответствующим марке прочности бетона, принятой по таблицам 4.1–4.4.

5.10. Таким образом, получим два исходных состава конструктивного легкого бетона заданной одинаковой удобоукладываемости – с большим и меньшим расходом цемента Цм.

6. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОМИНАЛЬНОГО СОСТАВА

6.1. По полученным составам п. 5.10 изготовляют соответственно условиям п. 5.5 по две партии (6 кубов) каждого состава, которые подвергают тепловой обработке по заданному или эквивалентному производственному режиму ускорения твердения. После остывания образцов, их обмера и взвешивания определяют по выходу состав бетона, и далее в течение суток одну партию испытывают на прочность при сжатии по ГОСТ 10180-78 и ГОСТ 18105-72. При этом после тепловой обработки определяют: прочность ($R_{то}$), объемную плотность ($\gamma_{то}$), влажность ($W_{то}$) и объемную плотность в высушенном состоянии ($\gamma_{сух}$).

6.2. Вторую партию подвергают хранению в камере нормальных условий (при насыщенной влажности воздуха и температуре 20±2°С (в течение 28 суток, после чего также испытывают на марочную прочность при сжатии (R_{δ}), влажность W_{δ} и объемную плотность в высушенном состоянии γ_{δ}.

6.3. По результатам пп. 6.1 и 6.2 предварительно определяют коэффициент перевода (K_{28}) прочности после тепловой обработки к марочной

$$R_{28} = \frac{R_{то}}{R_{28}} .$$

Примечание. Для предварительных оценок принимают следующие значения K_{28}:

Марки прочности	100	150	200	250
Значения K_{28}	0,8	0,75	0,7	0,7

6.4. На основании данных испытания двух составов конструктивного легкого бетона с большим ($Ц_{\delta}$) и малым ($Ц_{м}$) расходом цемента определяют требуемый расход цемента ($Ц_{т}$) по формуле линейной интерполяции

$$Ц_{т} = (R_{т} - R_{м}) \frac{Ц_{\delta} - Ц_{м}}{R_{\delta} - R_{м}} + Ц_{м} ,$$

где т, м, б – индексы, обозначающие "требуемый", "малый", "большой" расход цемента Ц; расход цемента в кг/м^3;

R – прочность при сжатии, кгс/см^2.

Пример графической линейной интерполяции показан на рис. 8.

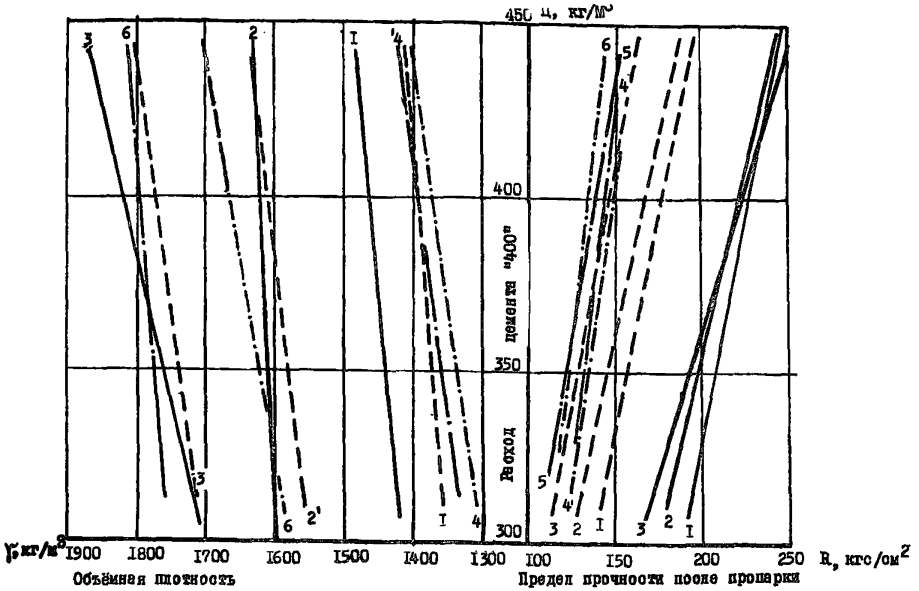


Рис. 8. Зависимость прочности и плотности конструктивного керамзитобетона от расхода цемента:

M/M+K	0,29		0,5		0,71	
Номер графика	3,	4	1,	5	2,	6
Виброукладываемость, с	20		20		20	
Подвижность, см	6–8		6–8		6–8	

6.5. По данным пп. 6.4 и 6.1 определяют состав контрольного замеса, соответствующего номинальному составу бетона с уточнением расхода воды по п. 5.6.

Замес номинального состава изготовляют на три партии кубов согласно вышеизложенным условиям и подвергают тепловой обработке по заданному режиму. Далее одну партию испытывают после остывания, другую выдерживают 28 дней в камере нормального хранения, третью оставляют на 28 дней в условиях воздушного хранения в лабораторном помещении при температуре $20\pm2^{\circ}$C и влажности $45\pm15\%$.

Испытания производят на прочность при сжатии, объемную плотность и влажность.

6.6. Если прочность через 28 дней нормального хранения после тепловой обработки соответствует заданной марочной $\pm5\%$, номинальный состав считается удовлетворительным. Далее определяют

расходы составляющих по насыпному объему и весу заполнителей и по весу цемента, воды и добавок.

Если отклонение прочности превышает 5%, необходимо откорректировать расход цемента и повторить контрольный замес.

Пример проектирования состава конструктивного керамзитобетона приведен в прилож. 2.

6.7. Используя данные результатов опытов п. 6.4, желательно определить также номинальный состав бетона следующей против заданной марки прочности по методике п. 6.5 (рис. 9).

7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНСТРУКТИВНОГО ЛЕГКОГО БЕТОНА

7.1. По номинальному составу бетона определяют важнейшие физико-технические характеристики, предусматриваемые проектом и влияющие на эксплуатационные и технико-экономические показатели.

7.2. Первостепенным следует считать определение модуля упругости, призменной прочности и объемной плотности.

Для определения модуля упругости и призменной прочности изготовляют замес бетона номинального состава заданной марки, из которого заданным способом и режимом изготовляют образцы для испытаний: призмы размером 15x15x15 см – 6 шт., кубы с ребром 15 см – 6 шт.

Отформованные призмы и кубы выдерживают 4 ч, после чего подвергают тепловой обработке для ускорения твердения по заданному режиму. После тепловой обработки три образца-куба испытывают на прочность при сжатии, а остальные хранят в нормальных условиях 28 суток, если первая партия кубов по результатам испытания после пропарки может быть отнесена к заданной марке.

После 28 суток хранения одновременно испытывают одну партию из трех образцов-кубов на прочность при сжатии, строго по методике ГОСТ 10180-78, и образцы-призмы (не менее трех) строго по методике ГОСТ 24452-80.

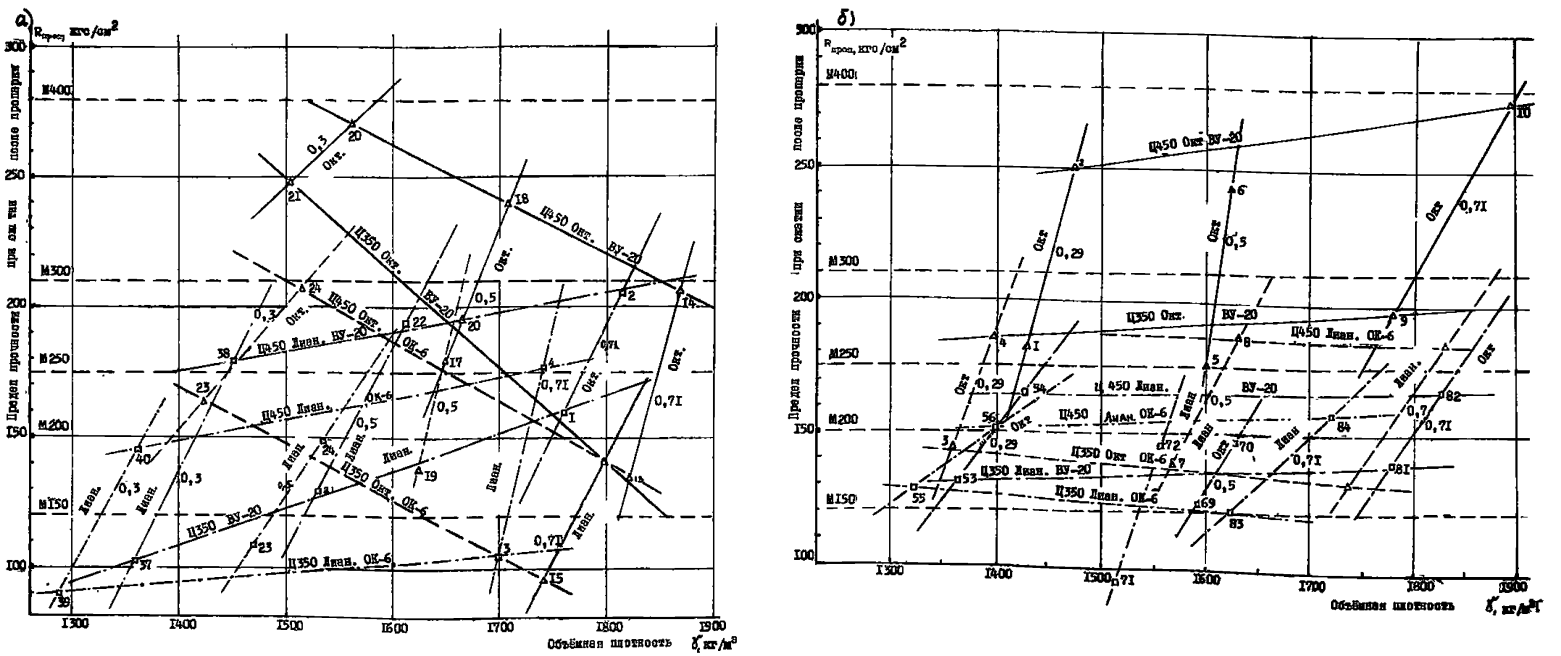
Остальные призмы подвергаются длительному воздушному хранению.

7.3. В результате обработки результатов эксперимента по п. 7.2 должны быть получены данные:

– фактический состав бетона по насыпному объему и весу заполнителей, по весу цемента, воды и добавок;

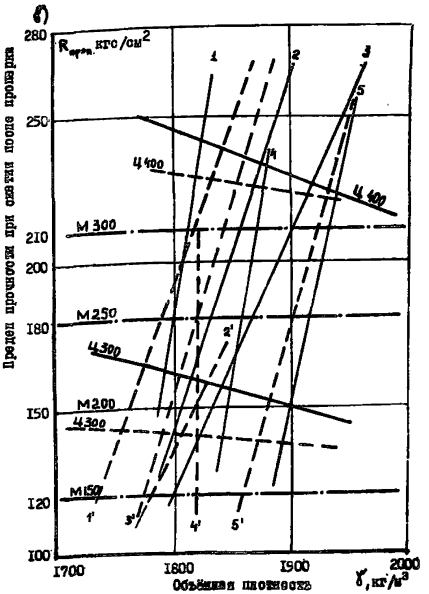
– объемная плотность бетона в свежеуплотненном виде, при ис-

Рис. 9. Графики прочности и плотности керамзитобетона на лианозовском (γ = 400 кг/см^3) и октябрьском (γ = 600 кг/м^3) керамзите при виброукладываемости 20с (сплошная линия) и подвижности ОК 6–8 см (пунктирные линии); номера партий и значения М/М+К:

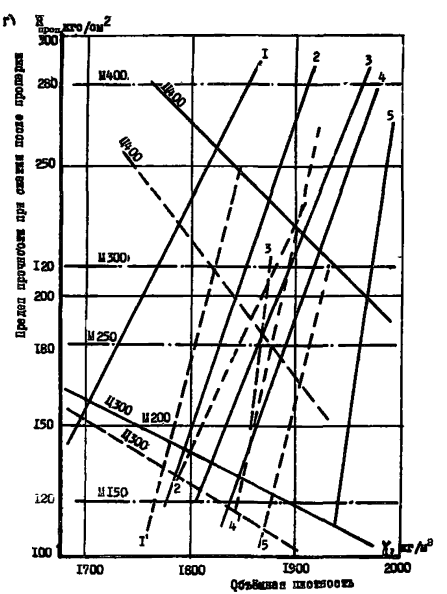


а – предельная крупность 10 мм;

б – предельная крупность 20 мм;



в – графики прочности и плотности конструктивного шлакопемзобетона в зависимости от предельной крупности 20 мм, структурного фактора M/M+K, удобоукладываемости и расхода цемента при значениях M/M+K: 1 – 0,25; 2 – 0,33; 4 – 0,5; 5 – 0,71 при виброукладываемости 20с, 1', 2', 3', 4', 5' – то же, при ОК 6–8 см;



г – предельная крупность 10 мм при значениях M/M+K: 1 – 0,25; 2 – 0,35; 3 – 0,5; 4 – 061; 5 – 0,71 (сплошные линии – виброукладываемость 20с, пунктирные – ОК 8–10 см)

пытании и в высушенном состоянии;

– модули упругости не менее трех призм при $\frac{\sigma}{R}$=0,2 : 0,3 : 0,5 и предельная сжимаемость с кривыми деформаций по нагрузке;

– призменная прочность;

– марочная (кубиковая) прочность.

7.4. Эксперимент и определения п. 7.3 желательно повторить по номинальному составу следующей против заданной марки бетона по п. 6.7 (рис. 10).

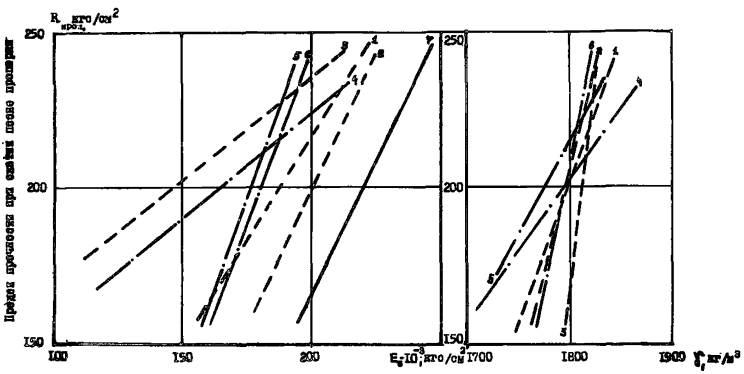


Рис. 10. Зависимость модуля упругости и объемной плотности от прочности и структуры керамзитобетона: 1 – предельная крупность 20 мм (ПК20), виброукладываемость 20с, М/М+К = 0,7; 2 – то же, ПК10, 3 – то же, при дробленом керамзите 5–10 мм; 4 – ПК20мм, ОК 6–8 см, М/М+К = 0,71; 5 – то же, ПК 10; 6 – то же, дробленая фракция 5–10, 7 – ПК 20, тяжелый бетон, ОК 6–8 см, М/М+К = = 0,32

7.5. Полученные номинальные составы и их показатели служат основанием для назначения производственного состава конструктивного легкого бетона и согласования показателей бетона с проектной организацией.

7.6. При отсутствии возможности непосредственного определения модуля упругости и призменной прочности следует руководствоваться таблицами 5.1 и 5.2.

Таблица 5.1

Расчетные модули упругости для определения и оценки звукоизоляции воздушного шума несущими ограждениями из легкого бетона на керамзите

$E \cdot 10^{-3}$, кгс/см^2

	M/M+K=0,3			M/M+K=0,5			M/M+K=0,71		
	M150	M200	M250	M150	M200	M250	M150	M200	M250
Кварцевый песок, горизонтальное формование (By 20c)	125	140	150	135	165	185	170	200	225
То же, кассетное формование, ОК 6-8 см	100	120	140	120	150	175	150	185	200

Таблица 5.2

Расчетные модули упругости для определения и оценки звукоизоляции воздушного шума несущими ограждениями из легкого бетона на пористом щебне

$E \cdot 10^{-3}$, кгс/см^2

	M150	M200	M250	M150	M200	M250	M150	M200	M250
	M/M+K=0,25			M/M+K=0,5			M/M+K=0,71		
Кварцевый песок, горизонтальное формование (By 20c), ПК 10 или ПК 20	160	200	245	150	200	250	185	225	240
То же, вертикальное формование в кассетных машинах, ОК 8-10 см	145	170	210	140	190	240	170	205	220

Продолжение табл. 5.2

	М150	М200	М250	М150	М200	М250	М150	М200	М250
	П/П+К=0,25			П/П+К=0,50			П/П+К=0,71		
Пористый песок, горизонтальное формование (Ву 20с)	–	–	–	110	150	185	160	175	200
То же, ОК 8-10 см	–	–	–	95	125	160	140	150	155

8. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ СОСТАВ

8.1. Номинальный состав, наиболее близко соответствующий требованиям проекта, назначается для производственной проверки и выдается по установленной форме в дозировочное отделение бетоносмесительного цеха. Для этого необходимо определить влажность составляющих и, дозируя заполнители по объему, указать контрольные весовые показатели дозировки.

8.2. По номинальному составу производят в течение полусмены не менее девяти изделий с изготовлением из бетонной смеси и отбором в начале, середине и в конце формования по одной партии образцов-кубов, которые подвергаются ускоренному твердению по принятому режиму, и после остывания испытываются на прочность при сжатии, объемную плотность и влажность.

Результаты дозировки бетона на все замесы записывают в журнал по форме (табл. 7), а результаты испытаний кубов обрабатывают статистически.

8.3. Исходя из результатов п. 8.2, руководитель лаборатории разрабатывает и представляет на утверждение главного инженера предприятия производственный состав конструктивного легкого бетона и технические условия на его корректировку по условиям влажности, замены цемента, изменения поставщика и др., на производство и на контроль качества легкобетонной смеси в соответствии с ГОСТ 10181-76 "Метод определения подвижности и жесткости бетонной смеси", ГОСТ 11051-70 "Бетон легкий на пористых заполните-

Таблица 6.1

Расчетные значения толщин звукоизолирующих и несущих стен из керамзитобетона

М/М+К	0,3						0,5						0,71					
Марка бетона	150		200		250		150		200		250		150		200		250	
Способ формования	ВУ 20	ОК 6-8	ВУ 20	ОК 6-8	ВУ 20	ОК 6-8	ВУ 20	ОК 6-8	ВУ 20	ОК 6-8	ВУ 20	ОК 6-8	ВУ 20	ОК 6-8	ВУ 20	ОК 6-8	ВУ 20	ОК 6-8
Модуль упругости $E \times 10^{-3}$ кгс/см^2	125	100	140	120	150	140	135	120	165	150	185	175	170	150	200	185	225	200
Объемная плотность γ сух, кг/м^3	1322	1280	1380	1330	1410	1350	1640	1600	1670	1650	1700	1610	1760	1675	1815	1725	1870	1770
$\sqrt{E/\gamma}$	9,72	8,84	10,07	9,50	10,31	10,18	9,07	8,66	9,94	9,53	10,4	10,4	9,83	9,46	10,50	10,3	10,97	10,63
Толщина стены, см $\beta = \frac{1,794}{\sqrt{\frac{E}{\gamma}}}$ сух	18,5	20,3	17,8	18,9	17,4	17,6	19,8	20,7	18	18,8	17,3	17,3	18,3	19	17,1	17,4	16,4	16,9
$\beta_1 = \frac{1,626}{\sqrt{\frac{E}{\gamma}}}$	16,7	18,4	16,1	17,1	15,8	16	17,9	18,8	16,4	17,1	15,6	15,6	16,5	17,2	15,5	15,8	14,8	15,3

Примечание. Расчет приведен для керамзитобетона на керамзите марки "500".

Таблица 6.2

Расчетные значения толщины звукоизолирующих и несущих стен из шлакопемзобетона

М/М+К	0,25						0,5						0,71					
Марка бетона	150		200		250		150		200		250		150		200		250	
Способ формования	ВУ	ОК	ВУ	ОК	ВУ	ОК	ВУ	ОК	ВУ	ОК	ВУ	ОК	ВУ	ОК	ВУ	ОК	ВУ	ОК
Модуль упругости $E \times 10^{-3}$ кгс/см^2	160	145	200	170	245	210	150	140	200	190	250	240	185	170	225	205	240	220
Объемная плотность $\gamma_{сух}$, кг/м^3	1745	1770	1790	1800	1815	1840	1820	1780	1845	1850	1885	1880	1845	1770	1850	1845	1900	1915
$\sqrt{E/\gamma_{сух}}$	9,57	9,18	10,57	9,44	11,62	10,68	9,08	8,86	10,41	10,13	11,51	11,30	10,01	9,8	11,08	10,54	11,24	10,72
Толщина стены, см $\beta = \frac{1,794}{\sqrt{E/\gamma_{сух}}}$	18,7	19,5	17	19	15,4	16,8	19,8	20,2	17,2	17,7	15,6	15,9	17,9	18,3	16,3	17	16	16,7
$\beta = \frac{1,626}{\sqrt{E/\gamma_{сух}}}$	17	17,7	15,4	15,2	14	15,2	17,9	18,3	15,6	16,1	14,1	14,4	16,2	16,6	14,7	15,4	14,5	15,2

Таблица 7

Пример записи результатов дозирования на 1 м³ бетона.

Производственный состав ВС 200. Марка "200" (после пропарки 150 кг/см²); М/М+К=0,71; ПК 10; формование кассетное; ОК 6-8 см; керамзит 5-10 мм; $\gamma_к$ = 385 кг/м³; $W_к$ = 2% по весу. Песок речной М = 2,2; $\gamma_п$ = 1600 кг/м³; $W_п$ = 7%. Номинальный состав на 1 м³: керамзит 315 л/125кг; песок 760 л/1300 кг, цемент 425 кг, вода 225 л

№ замесов	Дата, время	Керамзит 5-10		Песок речной		Цемент,	Вода,	ОК,	№ партий кубов	Объемный вес свеже-уплотненной смеси	Примечания
		л	кг	л	кг	кг	л	см			
	11.2.82										Смеситель СБ-93
1	8-25	315	131	750	1290	425	225	6-8	11/1	2070	1500/1000л
2	8-33	315	127	750	1293	425	235	-	-		
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . .	. . . .	. . . . .	
. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . .	. . . .	. . . . .	
15	11-45	315	115	750	1310	425	220	8-10	11/2	2070	
30	14-55	315	122	750	1300	425	225	6-8	11/3	2072	
Итого Σx	9450	3705	22500	39450	12750	6705	-	-			
Среднее $\frac{\Sigma x}{n}$	315	123,5	750	1315	425	223,5	-	-			
Среднее квадратичное отклонение σ	-	4,94	-	78,9	-	15,64	-	-			
Изменчивость V,%	4	4		6		7					

лях. Методы испытаний бетонной смеси" и ГОСТ 18105-72 "Бетоны. Контроль и оценки однородности прочности".

8.4. После освоения производства принятого состава бетона, обеспечивающего заданные показатели прочности и объемную плотность в пределах доверительного интервала 0,95, необходимо производить контроль и оценку модуля упругости бетона по ГОСТ 24452-80 не менее чем раз в месяц, а также проводить технико-экономическую оценку принятого состава и материалоемкости конструктивного легкого бетона по себестоимости материалов на изготовление 1 м^2 массовой типовой конструкции панели (например, внутренней несущей межквартирной стены).

9. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА МАТЕРИАЛОЕМКОСТИ ПАНЕЛЬНОЙ НЕСУЩЕЙ И ОГРАЖДАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ

9.1. Определение себестоимости материалов на 1 м^3 бетона производится по имеющимся отчетным данным и перспективным калькуляциям на данном домостроительном предприятии.

9.2. В соответствии с п. 3.11 себестоимость материалов на 1 м^3 бетона для производственного состава, который оформлен по п. 8.3, определяется по формуле:

$$Сб = МСм + КСк + ЦСц + ДС_д \ldots \text{ р/м}^3,$$

где заглавные буквы - расход на 1 м^3 бетона;

С - себестоимость;

б - бетон;

к - крупный заполнитель;

м - мелкий заполнитель;

ц - цемент;

д - добавка.

9.3. Способом, подобным приведенному в п. 9.2, следует определить себестоимость материалов на 1 м^3 бетона тяжелого - эталонного или любого другого сопоставляемого состава бетона. Сопоставимые составы легкого бетона принимаются по таблицам 4.1-4.4.

9.4. Для однослойных несущих и звукоизолирующих конструкций необходимо определить для каждого состава бетона расчетную толщину панели по формуле:

$$\delta = \frac{1,794}{\sqrt{E/\gamma}} \quad \text{м},$$

где δ – толщина панели, м;

E – модуль упругости бетона данного состава, кг/см^2;

γ – объемная плотность того же бетона при влажности 2%, кг/м^3.

Отсюда стоимость материалов на 1 м^2 сплошной звукоизолирующей и несущей панели из легкого сопоставимого бетона будет:

$$C_{мп} = \frac{1{,}794 \cdot C\delta}{\sqrt{E/\gamma}} \text{ руб/м}^2.$$

При отсутствии экспериментальных данных следует принимать значения расчетных толщин панелей по таблицам 6.1 и 6.2.

9.5. При сопоставлении, таким образом, может оказаться выгодным принять бетон следующей повышенной марки, имеющей при одинаковой объемной плотности значительно больший модуль упругости, что вызовет уменьшение требуемой толщины стены.

9.6. На основании технико-экономического расчета в условиях действующего завода представляется возможным по согласованию с привязывающей проектной организацией избрать вариант сечения ограждающей и несущей конструкции:

а – по толщине в см;

б – по марке бетона и по соответствующим значениям $\frac{E}{\gamma}$ и $\frac{R}{\gamma}$.

9.7. Следует принимать вариант состава бетона, обеспечивающего меньшую материалоемкость на 1 м^2 ограждения по себестоимости материалов франко-завод домостроительного предприятия, при условии гарантированного уровня значения индекса изоляции воздушного шума и требуемой марки бетона по прочности.

9.8. Основными резервами снижения материалоемкости могут быть:

– повышение чистоты и модуля крупности песка;

– повышение прочности пористого заполнителя (при сдавливании в цилиндре);

– снижение расхода воды затворения и применение более интенсивного уплотнения с пригрузом;

– выбор оптимальной активности цемента;

– применение местных материалов вместо привозных.

---

* При обеспечении первой категории качества за коэффициент принимается 1,64.

10. ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ЗАВОДСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

10.1. Складирование пористого заполнителя строго раздельно по фракциям 5–10 и 10–20 должно производиться в закрытом складе.

При необходимости склад должен быть оборудован дробильной и сортировочной установкой для очистки рассевом фракции пористого заполнителя и для дробления с рассевом более крупных фракций на фракцию 5–10 мм.

Должно быть обеспечено оборудование для оттаивания песка в зимнее время.

10.2. Загрузочный люк расходного бункера фракции 5–10 мм смесительного отделения должен быть оборудован дисковым или струнным ситом с просветом 10 мм, исключающим попадание в него более крупных зерен.

10.3. Пористый заполнитель и песок должны дозироваться по насыпному объему с весовым контролем (дозатор объемно-весовой типа СБ-107).

10.4. Рабочий раствор пластификатора в 5-процентной концентрации должен вводиться не в воду затворения, а непосредственно в смеситель при завершении его загрузки.

10.5. Смесители принудительного перемешивания предпочтительны корытного типа, растворомешалки – емкостью не менее 1500 л. К спиральным лопастям растворосмесителя рекомендуется прикрепить на болтах полосы транспортерной ленты, что предохраняет от размола пористый заполнитель при его перемешивании и обеспечивает чистоту смесительного барабана.

Растворосмеситель рекомендуется оборудовать пароразогревом.*

10.6. Транспортирование бетонной смеси рекомендуется в кюбелях большой емкости – более 2000 л.

10.7. Конструктивный легкий бетон с малой концентрацией крупного заполнителя по формуемости относится к мелкозернистому удобоукладываемому, высокой однородности бетону.

Формование панелей из конструктивного легкого бетона предпочтительно в горизонтальном положении из малоподвижной смеси с интенсивным высокочастотным уплотнением с пригрузом или с вибронасадкой.

---

* Рекомендации по проектированию технологических линий заводов КПД, применяющих горючие смеси. – М.: ЦНИИЭП жилища, 1975.

Однако практически формование возможно и любым другим способом, с учетом снижения трудоемкости и материалоемкости.

10.8. При выборе технологии производства панельных конструкций следует учитывать, что по мере повышения расхода воды затворения при одинаковой прочности снижается модуль упругости.

В свою очередь, это приводит к необходимости увеличения толщины панелей.

10.9. При формовании в кассетных машинах рекомендуется особо следить за горизонтальностью слоев укладки и уплотнения смеси, не допускать увеличения подвижности по стандартному конусу более 8 см для легкого бетона на гравийном и более 10 см на щебеночном пористом заполнителе.

При обнаружении признаков расслоения или водоотделения следует ввести в смесь водоудерживающие добавки (зола ТЭС до 150 кг/м^3, воздухововлекающую пластифицирующую поверхностно-активную добавку не более 100 гр. на 1 м^3 и пр.).

10.10. Особое внимание необходимо уделять отделке открытой формовочной поверхности. Выравнивание горизонтально расположенной поверхности в плоскость необходимо выполнять лыжным финишером, при этом образуются риски глубиной, равной наибольшей крупности зерен песка. Эти риски заглаживаются дисковыми затирочными машинами с подсыпкой сухого просеянного мелкого пористого песка с предельным размером зерен не более 1 мм.

Дефекты заглаживания устраняются ручными электротерками.

10.11. При формовании в кассетных машинах особое внимание следует уделять верхней формовочной открытой поверхности.

При завершении формования необходимо удалить остатки бетонной смеси, проверить и заделать места расслоения и тщательно выровнять и затереть поверхность после извлечения каналообразователей и очистки закладных деталей.

10.12. При формовании лестничных маршей и площадок, экранов ограждений лоджий и балконов рекомендуется использовать низкочастотную вибрацию на специальных производственных площадках (шокбетон).

10.13. При облицовке поверхностей конструктивного легкого бетона плиточными материалами в процессе формования, как "лицом вниз" так и "лицом вверх", не требуется подстилающего растворного слоя, за исключением случая, когда швы из белого или цветного цемента.

11. УСКОРЕНИЕ ТВЕРДЕНИЯ

11.1. Ускорение твердения конструктивного легкого бетона рекомендуется осуществлять с помощью тепловой обработки с предварительным пароразогревом бетонной смеси при перемешивании.

11.2. При формовании из холодной смеси следует руководствоваться "Общесоюзными нормами технологического проектирования предприятий сборного железобетона."

11.3. В целях интенсификации твердения рекомендуется вести прогрев при повышенной температуре до 100–110° под негерметичными крышками или при пакетировке.

11.4. Для панелей с открытой поверхностью перед тепловой обработкой осуществляется выдержка (не менее 4 ч). Изотермический прогрев осуществляется при температуре не выше 85°.

12. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА

12.1. Контроль качества, выполняемый пооперационно, основывается на стандартах предприятия, которые должны предусматривать:

- входной контроль и выбраковку при приемке пористого заполнителя, песка, цемента и добавок;
- контроль чистоты материалов в складских емкостях и расходных бункерах смесительного отделения;
- контроль дозировочной аппаратуры;
- систематическую проверку дозаторов и дозирования составляющих бетона;
- систематический контроль удобоукладываемости смеси;
- проверку исправности и комплектации каждой формы и каждого формовочного отсека;
- проверку исправности действия технологических элементов оборудования и, в частности, вибрационно-формовочного оборудования;
- контроль уплотнения, выравнивания и заглаживания панелей;
- автоматический контроль режима выдержки, тепловой обработки и остывания изделий;
- контроль свойств бетона (рекомендуется осуществлять методом высверливания и испытания кернов вместо изготовления и испытания образцов кубов);
- приемку на склад готовых изделий.

12.2. В процессе расформовки, транспортирования на склад и хранения панелей не допускается образование трещин. Если же избежать их не удалось, они в соответствии с ТУ должны заделываться до выдачи панелей со склада, что отмечается в сопроводительных сдаточных документах.

1. Исходные данные расчетных таблиц

Для получения данных к расчетным таблицам выполнен инженерный эксперимент по изготовлению и испытанию легкобетонных образцов на керамзитовом гравии и шлакопемзовом щебне предельной крупности 10 и 20 мм и в смесях при значениях М/М+К от 0,2 до 0,7 через 0,1, т.е. на всем диапазоне агрегатных структур, исключая крупнопористую и мелкозернистую.

Концентрация цемента для каждого состава равной виброукладываемости принималась с двумя расходами цемента Цм–малым и Цм–большим, обеспечивающими возможность определения Цтр–требуемого расхода цемента для достижения прочности заданной марки бетона и для определения и оценки удельного расхода цемента на единицу прочности прямой интерполяцией.

Во введении изложены основные положения по проектированию состава конструктивного легкого бетона для несущих и ограждающих конструкций. Использование этих положений позволило создать систему классификации. В результате удалось провести системный эксперимент и анализ всех возможных и пригодных к реализации составов конструктивного легкого бетона для несущих и ограждающих конструкций. На основе апроксимированных результатов экспериментов составлены таблицы расчетных составов конструктивного легкого бетона по приведенной ниже классификации.

1. По виду заполнителей:
- для гравиеподобных крупных заполнителей и тяжелого песка;
- для щебневидных крупных заполнителей и тяжелого песка.

2. По реологическим характеристикам легкобетонной смеси:

- "Ву20" – виброукладываемость (жесткость) 20с для вибрационного формования в горизонтально расположенных формах на производственных виброплощадках без пригруза, с виброукладываемостью, характеризуемой предельным уплотнением смеси в форме куба с ребром 15 см на стандартной лабораторной виброплощадке (3000 об/мин; А = 0,5 мм) в течение 15–20 с;
- ОК 6–10 см – подвижность по осадке конуса для формования в вертикальном положении в кассетных и им подобных машинах при продолжительной вибрации с малой амплитудой до 0,1 мм.

3. По маркам бетона М150, М200, М250.

4. По предельной крупности смеси 10 и 20 мм.

5. По зерновому составу смеси, определяемому в соответствии с показателем гранулометрии n значениями:

$\frac{M}{M+K}$					
	0,22;	0,25;	0,29;	0,33;	0,38;
	0,43;	0,5;	0,57;	0,66;	0,71.

6. По прочности гравиеподобных заполнителей, определяемой их насыпной объемной массой 400 и 600 кг/м^3.

Для щебневидных заполнителей по прочностным и объемновесовым характеристикам, присущим шлаковой пемзе среднего качества

$$\gamma_{нас} = 800 \text{ кг/м}^3 \text{ и } R_ц = 16 \text{ кг/см}^2.$$

Соответственно вышеприведенной классификации даны:

- расходы пофракционно (0–5; 5–10 и 10–20) заполнителей по насыпным объемам (см. рис. 1, 2);
- суммы пофракционных объемов;
- расходы цемента портландского марки "400" (см. рис. 3.1, 3.2, 4.1, 4.2);
- объемная масса в высушенном состоянии.

Все численные значения округлены до 5 кг/м^3 или 5 л/м^3 соответственно.

Для назначения производственного состава конструктивного легкого бетона заданной марки прочности необходимо выполнить следующие операции:

1. Обосновать выбор значения $\frac{M}{M+K}$ в зависимости от требуемых факторов оптимизации:

а – по наименьшему расходу гравиеподобных пористых заполнителей и по оптимальному расходу щебневидных;

б – по наименьшему расходу цемента;

в – по наименьшей объемной массе бетона для данной насыпной объемной массы заполнителя;

г – по наибольшему значению $\frac{R}{\gamma}$ или $\frac{E}{\gamma}$.

2. Изготовить одну партию из трех кубов с ребром 15 см по составу, указанному в таблицах 4.1–4.4, предварительно проведя экспрессный опыт по определению расхода воды для заданной удобоукладываемости.

3. Определить уточненные фактические расходы составляющих по выходу бетона.

4. После твердения заданным способом испытать образцы и определить прочность, объемную массу и влажность бетона.

5. По результатам испытания прямой интерполяцией уточнить расход применяемого цемента.

6. Изготовить и испытать контрольную партию образцов с уточненным составом по пп. 3, 5.

Для технических и экономических расчетов представляется возможным использование таблиц 6.1, 6.2 непосредственно или с прямой интерполяцией в необходимых случаях.

Для расчетов и для привязки типовых проектов необходимо руководствоваться расчетными характеристиками (см. таблицы 6.1, 6.2) и расчетной стоимостью материалов на 1 $м^2$ конструкции в зависимости от ее расчетной толщины и расчетной стоимости 1 $м^3$ бетона. Также необходимо указывать в проекте характеристики расчетного состава ПК, $\frac{М}{М + К}$, марку прочности, объемную массу в высушенном состоянии.

При использовании таблиц следует учитывать, что приведенные в них данные рассчитаны на тяжелый песок, отвечающий ГОСТ 8736-87 и ГОСТ 10268-70 при модуле крупности $М_{кр.}$ в пределах 2, т.е. среднего качества. При повышении $М_{кр.}$ до 3,5-4 и чистоты снижается расход цемента и повышается модуль упругости бетона. Расчетная насыпная объемная масса песка принята 1600 кг/$м^3$ (на практике она колеблется от 1450 до 1650). Расчетные расходы цемента приняты для марки портландского цемента "400", непластифицированного. В объемной массе бетона вес цемента принят с коэффициентом 1,15 для учета связанной воды.

Объемная масса заполнителей принята в рыхлонасыпном высушенном состоянии. Марки легкого бетона приняты с учетом следующих коэффициентов перехода от прочности через 4 ч. после пропарки к прочности через 28 дней нормального хранения:

для М150 $R_{28} = \frac{R_{проп.}}{0,80} = 1,25\ R_{проп.}$,

М200 $R_{28} = \frac{R_{проп.}}{0,75} = 1,333\ R_{проп.}$,

М250 $R_{28} = \frac{R_{проп.}}{0,70} = 1,43\ R_{проп.}$

Коэффициенты перехода необходимо уточнять по результатам статистической обработки экспериментальных данных одинаковой изменчивости.

Пример использования таблиц при проектировании состава бетона приведен в прилож. 2.

Приложение 2

Пример проектирования состава конструктивного керамзитобетона для панелей межквартирных несущих и звукоизолирующих акустически однородных стен нижних (первого–четвертого этажей) 16-этажного жилого дома серии 90

1. Исходные данные:

– проектная марка керамзитобетона М200;

– способ формования – конвейерная линия с виброплощадкой, виброукладываемость 20 с без пригрузки;

– керамзит фракционированный марки "500", $R_{цил.}$ = 25 кг/см^2, водопоглощение W = 27,5%,

– фракция 5–10 частично дробленая, n = 0,35+10$\frac{25}{500}$ = 0,8,

– показатель гранулометрии n = 0,8,

$(\frac{М}{М+К_{пк10}})$ = 0,57 $(\frac{М}{М+К_{пк20}})$ = 0,33,

– себестоимость керамзита 7,48 руб/м^3;

– портландцемент марки "400" непластифицированный, НГ = 26,25%, себестоимость 23,5 руб/т;

– песок мелкий чистый Мкр = 1,9, $\gamma_{нас.}$ = 1550 кг/м^3,

– себестоимость 3 руб/м^3.

2. Расчет исходного состава:

– по табл. 4.1 принимаем составы

ПК 10, $\frac{М}{М+К}$ = 0,57 (строка 7), М200, $\gamma = \frac{1685+1760}{2}$ = 1720 кг/м^3, расход керамзита 505 л;

ПК 10, $\frac{М}{М+К}$ = 0,71 (строка 10), М200

$\gamma = \frac{1790+1815}{2}$ = 1780 кг/м^3, расход керамзита 335 л;

– по табл. 4.2:

ПК 20, $\frac{М}{М+К}$ = 0,33 (строка 4), М200, γ = 1520 кг/м^3, расход керамзита 855 л. Кроме того, по п. 2.3

ПК 20, $\frac{М}{М+К}$ = 0,71 (строка 10), М200, γ = 1815, расход керамзита 320 л/м^3.

Сопоставляя данные приведенных четырех составов, определяем исходный состав по табл. 4.2: ПК 20, $\frac{М}{М+К}$ = 0,71 (строка 10).

Расход составляющих на 1 $м^3$ бетона:

песок (графа 8) 780 л 1210 кг,
керамзит 5–10 (графа 9) 145 л
керамзит 10–20 (графа 10) 175 л } 160 кг

цемент марки "400" (графы $\frac{18+19}{2}$) 350 кг,

связанная вода 55 кг
объемная плотность в высуш. сост. 1775 кг/$м^3$.
Изготовляем смесь из расчета на 15 л:

леска 780 x 0,015 = 11,7 л,		18,135 кг
керамзита 5–10	145 x 0,015 = 2,17 л	2,4 кг
керамзита 10–20	175 x 0,015 = 2,63 л	
цемент 350x0,015		5,25 кг
Всего		25,785 кг

Определяем исходный расход воды: $B_{исх} = W_к \cdot К + W_м \cdot М + НГ \cdot Ц =$

$= (2,17+2,63)\,0,5 \cdot 0,275 + 0,01 \cdot 11,7 \cdot 1,55 + 0,263 \cdot 5,25 = 2,25$ л

Поскольку смесь оказывается сухой, принимаем расход воды 2,5 л. После 4 мин перемешивания в смесителе на один кубик отбирается 3,375 л смеси, которая загружается в несмазанную форму весом $g_ф$ кг, установленную на лабораторной виброплощадке, и уплотняется 20 с. После этого определяется объемный вес бетона в форме (за вычетом $g_ф$ – 1,81 кг/л. Бетон из формы выгружается в мешалку, перемешивается, в него добавляют 250 мл воды (10%) и перемешивают.

Опыт повторяется. После виброуплотнения вес оказывается 1,9 кг/л. Смесь из формы выгружается в противень, в нее добавляют воду (2,5+0,25) 0,1.3,375=925 мл, перемешивают, загружают в форму и взвешивают. Объемный вес при этом оказывается меньше – 1,820 кг/л. Отсюда следует, что расход воды затворения должен приниматься около 2,75 л, так как при этом получена наибольшая объемная плотность – 1,9 кг/л.

Смесь из формы выгружается в мешалку, и тогда вес замеса составит 25,785+2,5+0,25+3,375·0,25=28,620, а расход воды 250 +0,25+ +0,08=2,83 л. Если со времени затворения прошло не менее 15 мин, смесь вновь перемешивается и через 15 мин после затворения определяется виброукладываемость смеси (время, в течение которого отвешенное количество смеси при вибрировании займет объем формы). Оно оказывается равным 26 с, что можно считать вполне удовлетворительным.

После этого снова определяется объемная плотность свежеуплотненной в течение 20 с смеси. Она оказывается 1,975 кг/л. Объем замеса V = 14,5 л (28,62:1,975). Следовательно, на один обра-

зец полагается загрузить смеси 3,375 · 1,975 = 6,666 кг.

Формы смазываются и загружаются смесью (в каждую – 6,666кг), смесь уплотняется в течение 20 с на лабораторной виброплощадке, ставятся метки.

Формы выдерживаются на воздухе 4 ч и загружаются в пропарочную камеру с заданным режимом 2+6+2 ч.

После выгрузки из камеры кубы распалубливают и ставятся на остывание (не менее 4 ч).

Остывшие кубы обмеряют и взвешивают, результаты записывают в журнал:

№ партий	Метка	Размеры, мм	F $см^2$	V $см^3$	Объемная плотность, $кг/м^3$			Прочность после пропарки, $\frac{кгс}{см^2}$
					свеже-уплотн.	после		
						пропарки	сушки	
27	1	150x155x152	232	3534	1886	1855	1745	183
	2	152x148x160	225	3599	1852	1820	1711	177
	3	151x153x155	231	3581	1861	1830	1720	179
Средняя						1835	1725	180

Определяем исходный расход составляющих по выходу бетона 14,5 л:

песок $-10^3 \cdot \frac{11,7\,л}{14,5\,л} = 807\ л/м^3$ или $\frac{18 \cdot 135\,кг}{14,5\,л} = 1250\ кг/м^3$;

керамзит – 5–10 $10^3 \cdot \frac{2,17}{14,5} = 150\ л/м^3$

10–20 $10^3 \cdot \frac{2,63}{14,5} = 180\ л/м^3$

$\frac{2,4}{14,5} = 165\ кг/м^3$;

цемент – $10^3 \cdot \frac{5,250}{14,5} = 362\ кг/м^3$;

вода – $10^3 \cdot \frac{2,83}{14,5} = 195\ л/м^3$.

Объемная плотность свежеуплотненной смеси 1970 кг/м^3 ($\frac{28,620}{14,50}$)
То же, в высушенном состоянии – 1720 кг/м^3.

Поскольку полученная прочность 180 кг/см^2 превышает требуемую на 29%, изготовляем контрольную партию образцов. В результате получаем следующие данные:

№ партий	Расход составляющих на 1 м^3					Объемная плотность смеси, кг/м^3			Плотность при сжатии, кг/см^2	
	Керамзит, л/кг		песок тяжел., л/кг	цемент марки "400"	вода, л	свежеуплот.	после пропарки	сухой	после пропарки	R 28
	5–10	10–20								
27	150 / 85	180 / 80	810 / 1250	360	195	1970	1835	1720	180	
28к	155 / 85	195 / 90	845 / 1310	300	205	1990	1965	1830	151	205

Ниже приводятся технико-экономические показатели 1 м^3 бетона различных структур:

Наименование составляющих и ед. изм.	Цена, руб.	Варианты				
		I	II	III	IУ	У
		ПК 10 М/М+К= =0,71	ПК 10 М/М+К= =0,57	ПК 20 М/М+К= =0,33	ПК 20 М/М+К= =0,71	тяжелый бетон
Керамзит, м^3	7,48	0,35 / 2,62	0,505 / 3,77	0,88 / 6,54	0,33 / 2,46	–
Песок кварц., м^3	3	0,845 / 2,54	0,69 / 2,07	0,43 / 1,29	0,8 / 2,40	0,45 / 1,35
Цемент, т	23,5	0,3 / 7,05	0,34 / 8	0,365 / 8,6	0,35 / 8,23	0,3 / 7,05
Щебень тяжел., т	7,4	–	–	–	–	0,95 / 7,03
Всего, руб		12,21	13,84	16,43	13,09	15,43

Примечание. В числителе – расход материалов, в знаменателе – стоимость.

Проверяем указанные варианты на эффективность звукоизоляции:

$E \cdot 10^{-3}$ кг/см^2	200	165	155	200	215
γ кг/м^3	1830	1720	1520	1810	2400
$\sqrt{\frac{E}{\gamma}}$	10,4	9,82	10,1	10,65	9,5
$b = \frac{1,708}{\sqrt{\frac{E}{\gamma}}}$ ...	16,4	17,4	16,9	16	16
Стоимость материалов на 1 м^2, руб.	2,02	2,41	2,78	2,08	2,48

Из таблицы следует, что наиболее экономичным по стоимости материалов на 1 м^3 бетона и на 1 м^2 является I вариант запроектированного состава ПК 10 М/М+К = 0,71.

ЛИТЕРАТУРА

1. СНиП II-12-77. Защита от шума. Нормы проектирования. -М.: Стройиздат, 1978.

2. Инструкция по проектированию и контролю звукоизоляции ограждающих конструкций жилых зданий ВСН 25-76. Госгражданстрой. - М.: Стройиздат, 1977.

3. Инструкция по проектированию конструкций панельных жилых зданий ВСН 32-77. Госгражданстрой. - М.: Стройиздат, 1978.

4. Рекомендации по технологии заводского производства и контролю качества легкого бетона и крупнопанельных конструкций жилых зданий. - М.: ЦНИИЭП жилища, 1980.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1. Общие положения	3
2. Требования к конструктивному легкому бетону	9
3. Требования к материалам для конструктивного легкого бетона	12
4. Проектирование состава конструктивного легкого бетона.	15
5. Экспериментальная проверка и установление исходного состава конструктивного легкого бетона	24
6. Экспериментальное определение номинального состава	31
7. Определение физико-технических характеристик конструктивного легкого бетона	33
8. Производственный состав	38
9. Технико-экономическая оценка материалоемкости панельной несущей и ограждающей конструкции	42
10. Особенности технологии заводского производства	44
11. Ускорение твердения	46
12. Контроль качества	46
Приложения	48
Литература	55

Редактор Э.А.Архитектор
Технический редактор О.А.Перевозчикова
Л. 115820 Подписано к печати 23/XII-82г. Формат 70x90/16
Офс. 80гр. Школьный п/ж Усл.п.л. 1,8 Уч.изд.л. 2
Изд. зак. №36 Тип.зак 545 Тираж 800экз. Цена 20 коп.
Ротапринт ОМПР и ВП ЦНИИЭП жилища
127434, Москва, Дмитровское шоссе, 9, корп."Б"
Т. 216-41-20

gost.e-ecolog.ru