НИЛЭП ОИСИ

Рекомендации

по производству и применению керамзитобетона на известняковом песке для конструктивных элементов жилых домов

Москва 1986

gost.e-ecolog.ru

Научно-исследовательская и проектная лаборатория
экспериментального проектирования
жилых и общественных зданий
Одесского инженерно-строительного института
(НИЛЭП ОИСИ)

РЕКОМЕНДАЦИИ

по производству и применению керамзитобетона на известняковом песке для конструктивных элементов жилых домов

Москва Стройиздат 1986

УДК 691.327.32:666.64–492.3

Рекомендовано к изданию Научно-техническим советом НИЛЭП ОИСИ.

Рекомендации по производству и применению керамзитобетона на известняковом песке для конструктивных элементов жилых домов/НИЛЭП ОИСИ. – М.: Стройиздат, 1986. – 64 с.

Содержат требования к исходным материалам, керамзитобетону на известняковом песке, изделиям для конструктивных элементов жилых домов. Даны указания по проектированию и подбору составов керамзитобетонов на известняковом песке, приготовлению, транспортированию и укладке керамзитобетонных смесей, формированию и твердению конструкций и контролю их качества.

Для инженерно-технических работников домостроительных комбинатов и заводов железобетонных изделий, проектных и научно-исследовательских организаций.

Табл.43, ил.9.

Все пожелания и замечания по содержанию настоящих Рекомендаций просьба направлять в НИЛЭП ОИСИ по адресу: 270029, Одесса, ул.Дидрихсона, д.4.

Р $\frac{3203000000-409}{047(01)-86}$ Инструкт.-нормат.

1 вып. – 62 – 85

© Стройиздат, 1986

Предисловие

Легкие бетоны в силу своих технико-экономических преимуществ, подтвержденных научными исследованиями и практикой строительства, широко применяются для изготовления ограждающих и несущих конструкций жилых домов и зданий общественного назначения.

Керамзитобетон на известняковом (карбонатном) песке представляет собой легкий бетон, где в качестве мелкого заполнителя применяется песок, полученный путем дробления и отсева отходов камнепиления известняков-ракушечников.

Карбонатные породы пористого строения (пористые известняки, известняки-ракушечники и известковые туфы) во многих южных районах СССР являются местным материалом и составляют основную часть запасов каменных пород. При одновременном дефиците в качественном кварцевом песке имеются огромные количества (до 70% объема разрабатываемой горной массы) технологических отходов (песок, штыб, мелкие и крупные куски камня), которые можно успешно применять в качестве мелкого заполнителя для керамзитобетонов прочностью до 30 МПа (300 кгс/см^2) при обычных расходах цемента.

При составлении Рекомендаций использованы материалы НИИЖБ, ЦНИИЭП жилища, Ростовского ИСИ, Симферопольского филиала Укрнистромпроекта, Симферопольского филиала НИИСМИ, АрмНИИС, АИСМ, института Калмгипросельстрой, предприятий промышленности строительных материалов.

Рекомендации разработаны НИЛЭП ОИСИ Госгражданстроя (кандидаты техн.наук *А.С.Столевич, С.В.Макаров, Р.Л.Тимчишина,* инженеры *В.Г.Суханов, Е.В.Лысенко, И.А.Столевич, Г.Т.Филипович*).

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Настоящие Рекомендации составлены в дополнение к Инструкции по изготовлению конструкций и изделий из бетонов, приготовляемых на пористых заполнителях (СН 483-76).

1.2. Рекомендации распространяются на заводское изготовление, приемку и применение сборных бетонных и железобетонных конструкций и изделий из керамзитобетона на известняковом песке для жилых и общественных зданий.

1.3. Конструкции и изделия (именуемые в дальнейшем изделия) из керамзитобетона на известняковом песке применяются в качестве:

панелей и блоков наружных и внутренних несущих стен;

панелей и плит перекрытий и покрытий;

панелей перегородок.

1.4. Рекомендации регламентируют изготовление и применение изделий из керамзитобетона на известняковом песке марки по прочности на осевое сжатие не более М 250 и плотности в сухом состоянии до 1800 кг/м^3.

1.5. Панели и блоки наружных и внутренних несущих стен, панели и плиты перекрытий и покрытий, панели перегородок из керамзитобетона на известняковом песке предназначаются для жилых и общественных зданий с относительной влажностью воздуха помещений не более 75%, при отсутствии в них агрессивных сред и систематическом воздействии температур не выше 50°С и не ниже минус 40°С.

1.6. Возможность применения керамзитобетона на известняковом песке в указанных конструктивных элементах должна быть обоснована технико-экономическими расчетами на основе исследований фактических показателей пористых заполнителей – известнякового песка и керамзита.

1.7. Изделия из керамзитобетона на известняковом песке следует изготовлять согласно требованиям глав СНиП на железобетонные изделия, в соответствии с требованиями действующих инструкций и с учетом настоящих Рекомендаций.

1.8. Изготовление изделий из керамзитобетона на известняковом песке осуществляется на технологических линиях и оборудовании, применяемых для изготовления аналогичных конструкций из тяжелых бетонов.

1.9. При изготовлении, транспортировке и монтаже изделий из керамзитобетона на известняковом песке следует соблюдать правила техники безопасности в строительстве, а также правила противопожарной техники.

2. ТРЕБОВАНИЯ К ИЗДЕЛИЯМ ИЗ КЕРАМЗИТОБЕТОНА НА ИЗВЕСТНЯКОВОМ ПЕСКЕ

2.1. Изделия из керамзитобетона на известняковом песке подразделяются:

по назначению – на конструкционно-теплоизоляционные и конструкционные;

по армированию – на армированные и неармированные.

2.2. Изделия, изготовленные из керамзитобетона на известняковом песке, должны удовлетворять требованиям соответствующих стандартов и конкретных рабочих чертежей, утвержденных в установленном порядке.

2.3. Изготовление изделий из керамзитобетона на известняковом песке должно проводиться по утвержденным в установленном порядке технологическим картам, составленным применительно к условиям конкретного производства, сырья и вида изделий.

2.4. Номенклатура изделий из керамзитобетона на известняковом песке должна соответствовать принятому в п.2.1 и прил.1 перечню конструктивных элементов.

2.5. По прочности, жесткости и трещиностойкости указанные изделия должны удовлетворять требованиям СНиП II-21-75 "Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования" с учетом настоящих Рекомендаций.

2.6. Внешний вид и качество отделки поверхностей из керамзитобетона на известняковом песке должны отвечать требованиям действующих стандартов.

3. ТРЕБОВАНИЯ К КЕРАМЗИТОБЕТОНУ НА ИЗВЕСТНЯКОВОМ ПЕСКЕ

3.1. Керамзитобетон на известняковом песке в изделиях по структуре, прочности, плотности в сухом состоянии, деформативности и другим свойствам должен удовлетворять требованиям проекта, соответствующих технических условий, а также настоящих Рекомендаций.

3.2. Керамзитобетон на известняковом песке в зависимости от назначения подразделяется на конструкционно-теплоизоляционный и конструкционный.

3.3. Конструкционно-теплоизоляционный керамзитобетон марок по прочности М 50, М 75, М 100, М 150 плотностью в сухом состоянии 1200–1400 кг/м^3 рекомендуется к применению в пустотелых крупных стеновых блоках.

3.4. Конструкционный керамзитобетон марок по прочности М 150, М 200, М 250 плотностью в высушенном состоянии не более 1800 кг/м^3 целесообразно применять в межквартирных несущих и ненесущих стенах, в междуэтажных перекрытиях и в доборных элементах.

3.5. Физико-технические характеристики керамзитобетона на известняковом песке приведены в табл.1.

3.6. По структуре керамзитобетон на известняковом песке должен быть плотный (слитный), изготовленный из вяжущего, воды, керамзита, известнякового песка и, при необходимости, пластифицирующих добавок. Керамзитобетон на известняковом песке с такой структурой должен иметь, соответственно, объем пустот не более 6%.

3.7. Плотность керамзитобетона на известняковом песке в высушенном до постоянной массы состоянии не должна превышать более чем на 5% проектное значение, указанное в рабочих чертежах.

3.8. Марка керамзитобетона по прочности на осевое сжатие должна соответствовать указанной в рабочих чертежах.

3.9. Коэффициент вариации при оценке прочности керамзитобетона на осевое сжатие V_R не должен превышать 0,135, а при оценке плотности V_ρ должен быть не более 0,05.

3.10. Требуемая отпускная прочность керамзитобетона в изделиях устанавливается по согласованию между предприятием-изготовителем, потребителем и проектной организацией в соответствии с ГОСТами: для марок М 50–М 100 – 80%, для марок М 150–М 250 – 70%, для керамзитобетона в предварительно напряженных конструкциях – 80% проектной марки по прочности на сжатие.

3.11. Завод-изготовитель обязан гарантировать достижение бетоном прочности на сжатие не ниже проектной марки в месячный срок со дня изготовления изделий.

3.12. Масса изделий при отпуске потребителю не должна превышать более чем на 7% проектную, которая указана в рабочих чертежах изделий.

4. ТРЕБОВАНИЯ К ИСХОДНЫМ МАТЕРИАЛАМ

4.1. Для изготовления изделий из керамзитобетона на известняковом песке рекомендуется использовать местные заполнители, отвечающие требованиям действующих нормативных документов. Применение привозных заполнителей допускается только при соответствующем обосновании тех-

Таблица 1

Характеристики бетона	Проектная марка керамзитобетона на известняковом песке по прочности на сжатие						Требования оптимизации к заданному уровню показателей
	50	75	100	150	200	250	
Расход цемента марки М 400 на 1 м^3 бетона, кг	170–200	190–240	200–260	260–330	350–420	420–500	–
Плотность в сухом состоянии ρ, кг/м^3	1200	1250	1400	1600	1700	1800	Менее заданного
Прочность при осевом сжатии призм $R_{пр}$, МПа (кгс/см^2)	4,5 (45)	6,8 (68)	9,0 (90)	13,5 (135)	18,0 (180)	22,0 (220)	Более заданного
Прочность при осевом растяжении R_p, МПа (кгс/см^2)	0,6 (6)	0,8 (8)	0,9 (9)	1,1 (11)	1,2 (12)	1,4 (14)	Более заданного
Модуль упругости $E \cdot 10^{-3}$, МПа (кгс/см^2)	5,5 (55)	7,0 (70)	9,0 (90)	12,0 (120)	15,0 (150)	17,0 (170)	То же
Трещиностойкость $T = R_p / E \cdot 10^5$	12	11	9	8,5	8,25	8	"
Коэффициент звукоизоляции $\sqrt{E/\rho} \cdot 10^5$	600	700	800	850	900	950	"
Теплопроводность $\lambda_{сух}$, ккал/м·ч·град	0,2	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	Менее заданного
Сопротивление водопроницанию за 48 ч R_w, 1/г·см^2	2	2	2	2	–	–	Более заданного
Морозостойкость, циклы	50	100	150	200	200	200	То же

нико-экономической эффективности легкобетонных конструкций на этих заполнителях.

4.2. В качестве крупного заполнителя для приготовления керамзитобетона на известняковом песке рекомендуется применять керамзитовый гравий, отвечающий требованиям ГОСТ 9757–83, в соответствии с табл.2.

Таблица 2

Прочность при сдавливании в цилиндре по ГОСТ 9758–77, МПа (кгс/см^2)	Средняя (фактическая) прочность $R_{сж.з}$, МПа (кгс/см^2)	Насыпная плотность по ГОСТ 9758–77 $\rho_н$, кг/м^3	Средняя (фактическая) насыпная плотность $\bar{\rho}_н$, кг/м^3	Коэффициент конструктивного качества $K_{кк}$, м	Средний (фактический) коэффициент конструктивного качества, м
1,0–4,5 (10–45)	2,9 (29)	350–700	540	286–645	532

Примечания: 1. $R_{сж.з}$, $\rho_н$ – по данным заводов керамзитового гравия южного региона. 2. $K_{кк} = R_{сж.з} \cdot 10^5/\rho_н$

Поставку керамзита следует производить на основании технических условий и спецификаций к договору между поставщиком и потребителем (прил.2).

4.3. Предельную крупность керамзитового гравия рекомендуется принимать не более 20 мм. Максимальный размер крупного заполнителя должен быть не более 1/2 толщины изделия и не должен превышать 3/4 наименьшего расстояния в свету между стержнями арматуры.

4.4. Керамзитовый гравий должен поставляться чисто рассортированным, раздельно по фракциям 5–10 и 10–20 мм, предусмотренной насыпной плотности и прочности. Применение керамзитового гравия фракций 20–40 мм, а также смеси фракций допускается при обеспечении получения на данном заполнителе керамзитобетона заданной марки по прочности при сжатии и средней плотности, при соблюдении типовой нормы расхода цемента по СН 386-74.

4.5. Марку керамзитового гравия по насыпной плотности и прочность при сдавливании в цилиндре, в зависимости от заданной марки бетона, рекомендуется принимать по табл.3.

Таблица 3

Проектная марка керамзитобетона	Марка гравия по насыпной плотности	Прочность при сдавливании в цилиндре, МПа (кгс/см^2)
50	350–400	1,0–1,5 (10–15)
75	350–400	1,0–1,5 (10–15)
100	350–400	1,0–1,5 (10–15)
150	400–450	1,5–2,0 (15–20)
200	450–500	2,0–2,5 (20–25)
250	500–600	2,5–3,5 (25–35)

4.6. Зерновой состав смеси фракций керамзитового гравия принимается в соответствии с требованиями главы СНиП по заполнителям для бетонов и растворов. Для керамзитобетона на известняковом песке рекомендуемое отношение объема фракций 10–20 мм к объему фракции 5–10 в общем составе смеси находится в пределах:

для конструкционного керамзитобетона – 1,0–1,5;

для конструкционно-теплоизоляционного керамзитобетона – 1,5–2,0.

Содержание в смеси фракции керамзитового гравия фракции 20–40 мм допускается не более 20% по объему.

4.7. Превышение насыпной плотности керамзитового гравия по сравнению с браковочным максимумом ни в одной партии не допускается. Величина браковочного максимума устанавливается техническими условиями на поставку предприятию-изготовителю керамзита (прил.3).

Коэффициент вариации (изменчивости) насыпной плотности V_ρ для каждой партии или нескольких складируемых вместе партий должен быть не более 0,05.

Превышение нормы технических условий по насыпной плотности $\rho_{факт}$ не допускается более

$$\rho_{факт} \leq \rho_{ту} + 2S_\rho, \quad (1)$$

где $\rho_{факт}$, $\rho_{ту}$ – насыпные плотности фактическая и по техническим условиям; S_ρ – среднеквадратическое отклонение (стандарт) плотности от среднего значения.

4.8. Снижение прочности керамзита, определяемой сдавливанием в цилиндре, против браковочного минимума также не допускается ни в одной партии.

Коэффициент вариации прочности V_R для каждой партии или нескольких складируемых вместе партий должен быть не более 0,15.

Снижение нормы технических условий по прочности $R_{факт}$ не допускается более

$$R_{факт} \geq R_{ту} - 1{,}7S_R, \quad (2)$$

где $R_{факт}$, $R_{ту}$ – прочности фактическая и по техническим условиям; S_R – среднеквадратическое отклонение (стандарт) прочности от среднего значения.

4.9. В качестве мелкого заполнителя для приготовления керамзитобетона на известняковом песке применяется карбонатный песок из известняков-ракушечников, полученный путем дробления и рассева отходов камнепиления и кусков известняка-ракушечника (бута).

4.10. Пригодность известняка-ракушечника для получения песка определяется прочностью песка, полученного путем дробления исходной породы или отсеянного из отходов без дробления.

При разработке отвалов камнепиления, загрязненных вскрышными породами, необходимо отходы тщательно просеивать и использовать для дробления на песок только чистые отходы известняка-ракушечника крупностью более 5 мм.

4.11. Известняковый песок прочностью ниже 1,0 МПа (10 кгс/см^2) к применению не допускается.

4.12. Зерновой состав песка после отсева зерен крупнее 5 мм должен соответствовать следующим требованиям:

Размер отверстий контрольных, мм	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14
Полный остаток на контрольных ситах, % по массе	0–35	15–55	35–75	55–90	70–100

Рекомендуется применять пески крупные или средние с модулем крупности M_K = 2,0–3,5 согласно ГОСТ 8736–77 с изм.

Содержание в песке зерен крупностью 5–10 мм должно быть не более 5% по массе.

Наличие в песке зерен щебня крупнее 10 мм не допускается.

4.13. Содержание в песке отдельно глинистых частиц допускается не более 1%

4.14. Песок при обработке раствором едкого натрия (колориметрическая проба на органические примеси) не должен придавать раствору окраску темнее цвета эталона.

4.15. Содержание в песке водорастворимых сернистых и сернокислых соединений в пересчете на SO_3 не допускается более 1% по массе.

4.16. Для керамзитобетона на известняковом песке рекомендуется применять портландцемент и шлакопортландцемент марок М 300, М 400 и М 500, отвечающих требованиям ГОСТ 10178–76 с изм.

4.17. Добавки, регулирующие технологические и технические характеристики бетона, должны соответствовать требованиям действующих ГОСТов и ТУ. Они применяются в виде рабочих растворов, загружаемых непосредственно в смеситель бетона.

4.18. Все материалы, используемые как компоненты бетона, а также арматура, закладные детали, герметизирующие комплектующие элементы, материалы для смазки форм, отделочные материалы должны соответствовать требованиям проекта, ГОСТ, ТУ и подлежать систематическому входному контролю заводской лаборатории.

5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ПОДБОР СОСТАВОВ КЕРАМЗИТОБЕТОНА НА ИЗВЕСТНЯКОВОМ ПЕСКЕ

5.1. Подбор составов керамзитобетона на известняковом песке в зависимости от его назначения должен обеспечить получение:

а) конструкционного керамзитобетона заданной прочности при минимальном расходе цемента с возможно меньшей плотностью;

б) конструкционно-теплоизоляционного керамзитобетона заданной плотности при проектной прочности.

5.2. Для проектирования составов керамзитобетона должны быть заданы:

а) проектная марка бетона по прочности на осевое сжатие, плотность и другие характеристики;

б) жесткость или подвижность смеси;

в) характеристики исходных материалов;

г) способ приготовления смеси и формования изделий, условия твердения.

5.3. Подбор составов керамзитобетона производится в лаборатории на материалах, которые будут использованы при изготовлении керамзитобетонной смеси с учетом конкретной производственной технологии приготовления и транспортирования ее, формования и твердения изделий.

5.4. Подбор состава керамзитобетона включает следующие основные этапы:

а) предварительная оценка пригодности имеющихся исходных материалов;

б) расчет и назначение оптимального исходного состава для опытных замесов;

в) приготовление I серии опытных замесов и обработка полученных результатов испытаний образцов из этих замесов;

г) назначение состава керамзитобетона и его корректировка по заданным эксплуатационным характеристикам;

д) приготовление II серии опытных замесов и определение статистических характеристик изменчивости прочности и плотности керамзитобетона по результатам опытных образцов;

е) назначение рабочего состава.

Решение задач п.5.4 (в–д) в некоторых случаях целесообразно проводить используя разработанный в ОИСИ метод, который основан на математической теории эксперимента (МТЭ, пп.5.19–5.33).

Применение этого метода позволяет решать задачу подбора некоторого заданного – по прочности (маркам) или плотности – диапазона составов керамзитобетона на известняковом песке. Определение одного состава – частная задача, результат решения которой находится в едином комплексе решений (составов), получаемых при полном (найлучшем) использовании этого метода.

5.5. Предварительная оценка пригодности имеющихся исходных материалов для приготовления керамзитобетона производится согласно пп.9.3–9.7 настоящих Рекомендаций.

5.6. Оценку пригодности исходных материалов можно проводить по паспортам поставки, в которых должны быть указаны необходимые характеристики этих материалов (прил.3).

5.7. Составы керамзитобетона подбираются на сухих заполнителях. Корректировка, учитывающая влажность заполнителей, проводится при назначении рабочего состава.

5.8. Для увеличения подвижности керамзитобетонной смеси, повышения качества керамзитобетона, снижения расхода цемента применяются химические добавки СНВ, СДБ, С-3 (суперпластификатор) в соответствии с требованиями Руководства по применению химических добавок в бетоне (М., Стройиздат, 1981), Рекомендаций по применению разжижителя С-3 (М., НИИЖБ Госстроя СССР, 1979) и прил.4 Рекомендаций по технологии заводского производства и контролю качества легкого бетона и крупнопанельных конструкций жилых зданий (М., ЦНИИЭП жилища, 1980).

5.9. Для получения подвижных и литых керамзитобетонных смесей с ОК > 6 см применение указанных добавок обязательно. Рекомендуемые дозировки химических добавок приведены в табл.4.

Таблица 4

Наименование добавки	Дозировка, % от веса цемента	Технологический эффект применения – увеличение ОК, см, без снижения прочности керамзитобетона
СНВ	0,10–0,15	4–7
СДБ	0,10–0,20	3–6
С-3 (суперпластификатор)	0,20–0,40	6–11

5.10. Значение агрегатно-структурного фактора принимается в пределах:

а) $0{,}4 < М/(М + К) \leqslant 0{,}7$ – для конструкционных керамзитобетонов М 150–М 250;

б) $0{,}3 \leqslant М/(М + К) \leq 0{,}4$ – для конструкционно-теплоизоляционных керамзитобетонов М 50–М 150.

5.11. Жесткость (удобоукладываемость) керамзитобетонной смеси назначается в зависимости от типа изделий, способов формования и уплотнения смеси (прил.1).

5.12. Расход компонентов исходного оптимального состава керамзитобетонной смеси определяется следующим образом:

а) общий расход крупного и мелкого заполнителя (керамзита и известнякового песка),

$$М + К = 1000 - Ц - В, \qquad (3)$$

где Ц – расход цемента (л/м^3) М 400, назначаемый по графикам (рис.1–3) в весовых единицах в зависимости от принятого значения агрегатно-структурного фактора М/(М+К) (для конструкционного керамзитобетона – по заданной прочности при минимальной плотности; для конструкционно-теплоизоляционного керамзитобетона – по заданной плотности при проектной прочности). Для перехода от весовых единиц расхода цемента к объемным рекомендуется использовать паспортное значение плотности цемента; В – исходный расход воды, назначаемый по табл.5, в зависимости от принятых расхода цемента и значения агрегатно-структурного фактора М/(М+К) по заданной подвижности (жесткости) керамзитобетонной смеси.

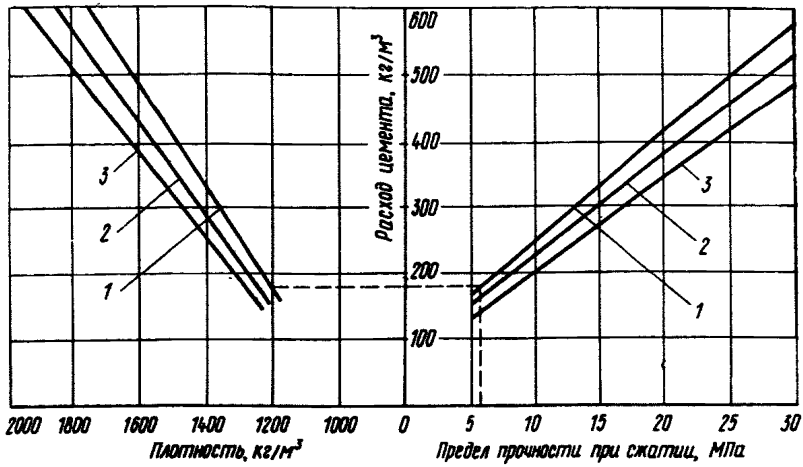

Рис.1. Зависимость прочности и плотности керамзитобетона на известняковом песке от расхода цемента подвижностью ОК = 0–6 см при значениях

1 – **М/(М+К) =0,2 –0,4;** *2* – **М/(М+К) =0,4 – 0,6;**

3 – **М/(М+К) =0,6 – 0,7**

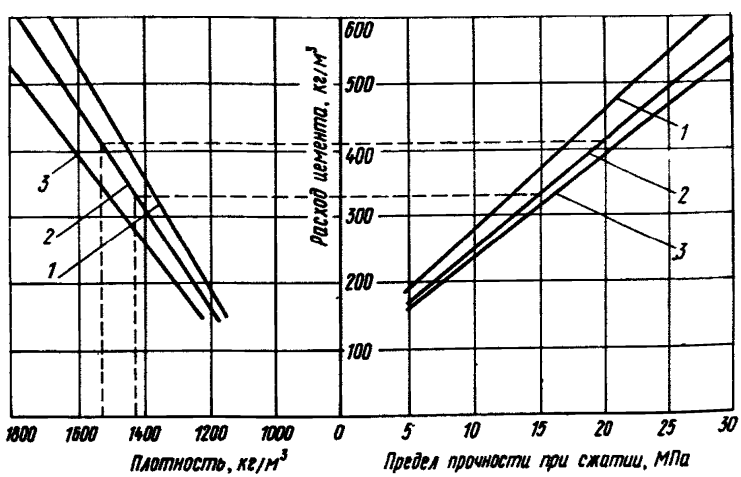

Рис. 2. Зависимость прочности и плотности керамзитобетона на известняковом песке от расхода цемента подвижностью ОК = 6–12 см при значениях

1 – **М/(М+К) =0,2 – 0,4;** *2* – **М/(М+К) =0,4 –0,6;**

3 – **М/(М+К) =0,6 – 0,7**

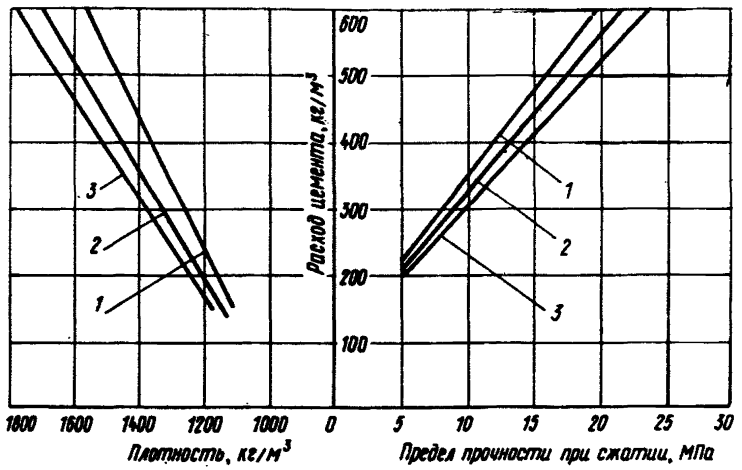

Рис. 3. Зависимость прочности и плотности керамзитобетона на известняковом песке от расхода цемента подвижностью ОК = 12–18 см при значениях

1 – М/(М+К) = 0,2 – 0,4; *2* – М/(М+К) = 0,4 – 0,6;

3 – М/(М+К) = 0,6 – 0,7

Таблица 5

Подвижность ОК, см / Жесткость, с	Расход цемента, кг/м³	Минимальный расход воды, л				
		Значения агрегатно-структурного фактора М/(М + К)				
		0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
0–3 / 10–15	200–250	190–200	220–230	240–250	250–260	260–270
	251–400	200–210	230–240	250–260	260–270	270–280
	401–550	240–250	250–260	260–270	270–280	280–285
3–6 / менее 10	200–250	220–230	245–250	250–260	260–270	270–280
	251–400	225–235	240–250	250–255	260–270	275–285
	401–550	255–260	260–265	270–275	275–280	280–290
6–18	200–250	250–260	260–270	260–270	270–275	270–280
	251–400	250–260	250–260	260–270	270–275	270–280
	401–550	270–275	270–275	275–280	280–290	290–295

Примечания: 1. Для цементов других марок полученный указанным способом расход цемента корректируется с помощью коэффициента по расходу материалов:

Марка цемента	250	300	400	500	600
Коэффициент	1,3	1,2	1,0	0,9	0,8

2. Установленный расход цемента не должен превышать значений, указанной в СН 386-74;

б) количество мелкого заполнителя (известнякового песка)

$$М=[М/(М+К)]\ (М+К), \tag{4}$$

где М/(М+К) – заданное значение агрегатно-структурного фактора; М+К – назначенный ранее общий расход керамзита и известнякового песка;

в) количество крупного заполнителя (керамзита)

$$К=(М+К)-М. \tag{5}$$

5.13. Полученный расчетно-графическим путем оптимальный исходный состав керамзитобетона проверяется по эксплуатационным характеристикам – на соответствие заданной прочности при минимальной плотности (конструкционный керамзитобетон), заданной плотности при проектной прочности (конструкционно-теплоизоляционный керамзитобетон) при требуемой подвижности (жесткости) смеси (прил.1).

Для этого приготавливается первая серия опытных замесов, на базе которой изготавливают опытную партию контрольных кубов (не менее 6) размером 15х15х15 см.

Керамзитобетонную смесь испытывают в соответствии с ГОСТ 10181.1–81 и ГОСТ 10181.2 – 81, а контрольные кубы – по ГОСТ 12730.1 – 78.

5.14. На основании удовлетворительных результатов проверки оптимального исходного состава определяется расчетный состав керамзитобетона, в показатели которого помимо расхода компонентов включаются плотности керамзитобетона после формования, тепловой обработки, а также в высушенном до постоянного веса состоянии.

5.15. При неудовлетворительных результатах проверки корректируют исходный оптимальный состав путем изменения значения агрегатно-структурного фактора, содержания песка и др. При необходимости корректировка производится несколько раз с последующей проверкой нового исходного оптимального состава в соответствии с п. 5.13 до получения расчетного состава.

5.16. Для получения рабочего состава контролируют показатели изменчивости прочности и плотности керамзитобетона расчетного состава, для чего приготавливают вторую серию опытных замесов (3 замеса) и берут из каждого замеса по три партии образцов, которые подвергаются тепловой обработке. Затем образцы испытывают, определяя для каждого из них прочность и плотность в высушенном до постоянного веса состоянии. Для каждой партии образцов фиксируются расходы цемента, воды, добавки и заполнителей (пофракционно) по объему и по весу.

Результаты записывают в таблицу по форме (табл.6) и определяют статистические характеристики – фактические показатели коэффициента вариации прочности и плотности – V_R, V_ρ, и корреляцию $(R-\rho)$. Полученные результаты сравниваются с регламентируемыми величинами.

Таблица 6

№ партии	№ образца	Прочность R_i, МПа	Плотность в высушенном состоянии, ρ_i, кг/м^3	$R_i-\bar{R}$	$(R_i-\bar{R})^2$	$\rho_i-\bar{\rho}$	$(\rho_i-\bar{\rho})^2$	$(R_i-\bar{R})(\rho_i-\bar{\rho})$
ΣN		$\sum_{i=1}^{N} R_i$	$\sum_{i=1}^{N} \rho_i$	$\Sigma=0$	$\sum_{i=1}^{N}(R_i-\bar{R})^2$	$\Sigma=0$	$\sum_{i=1}^{N}(\rho_i-\bar{\rho})^2$	

По данным таблицы определяют:

средние арифметические значения:

прочности $$\bar{R} = 1/N \sum_{i=1}^{N} R_i ; \quad (6)$$

плотности $$\bar{\rho} = 1/N \sum_{i=1}^{N} \rho_i \quad (7)$$

средние квадратические отклонения:

прочности $$S_R = \sqrt{\frac{1}{N-1} (R_i - \bar{R})^2} ; \quad (8)$$

плотности $$S_\rho = \sqrt{\frac{1}{N-1} (\rho_i - \bar{\rho})^2} ; \quad (9)$$

коэффициент вариации:

прочности $$V_R = S_R / \bar{R} < 0{,}135 ; \quad (10)$$

плотности $$V_\rho = S_\rho / \bar{\rho} < 0{,}05 ; \quad (11)$$

Оценку коэффициента корреляции между прочностью и плотностью

$$\hat{\rho}_{R\rho} = 1/(N-1) S_R S_\rho \sum_{i=1}^{N} (R_i - \bar{R})(\rho_i - \bar{\rho}) > 0{,}5 ; \quad (12)$$

ошибку корреляции

$$m_{\hat{\rho}} = 1 - \hat{\rho}^2 / \Sigma N ; \quad (13)$$

отношение оценки коэффициента корреляции к ошибке

$$\hat{\rho} / m_{\hat{\rho}} > 3. \quad (14)$$

При неудовлетворительных результатах испытания необходимо повторять в соответствии с п.5.13 до получения контролируемых статистических характеристик в регламентируемых пределах.

5.17. На основании полученных значений изменчивости бетона и насыпной плотности заполнителей определяют расчетную плотность керамзитобетона полученного состава и ее браковочный максимум

$$\rho_{бр} \leq \rho_{расч} (1 + V_\rho) \leq \rho_{расч} 1{,}05. \quad (15)$$

5.18. По результатам проведенных опытов назначается рабочий состав.

5.19. При использовании метода, основанного на МТЭ, для получения рабочего состава керамзитобетона на известняковом песке (п.5.4) в качестве оптимального (по эксплуатационным характеристикам) принимается состав смеси заданной удобоукладываемости (жесткости), обеспечивающий получение керамзитобетона требуемой структуры, заданной марки с минимальной плотностью (конструкционные керамзитобетоны), заданной плотности при проектной прочности (конструкционно-теплоизоляционные керамзитобетоны). Кроме того, полученный керамзитобетон должен удовлетворять требованиям табл.1.

5.20. Исходный состав керамзитобетонной смеси назначается по п.5.12.

5.21. Основными факторами (независимыми переменными) для получения оптимальных конструкционных и конструкционно-теплоизоляционных керамзитобетонов рекомендуется принимать:

расход цемента Ц, кг/м^3 (x_1);

расход воды затворения В, л/м^3 (x_2);

агрегатно-структурный фактор М/(М+К) (x_3).

Примечания: 1. Для получения высокоподвижных смесей с оптимальной дозировкой пластифицирующей добавки рекомендуется дополнительно принимать в качестве фактора расход добавки в процентах от веса цемента с последующим пересчетом на водный раствор заданной концентрации Д, л/м^3.

2. Для получения керамзитобетона с высоким содержанием мелкого заполнителя (при решении параллельной задачи – экономии цемента), либо экономии дефицитного заполнителя – керамзита, (при М/(М + К)>0,5) рекомендуется дополнительно принимать в качестве фактора – количество пылевидной фракции (< 0,14 мм) песка в % от веса всего количества песка с последующим пересчетом в кг/м^3, $П_{<0,14}$, кг/м^3.

Интервалы варьирования рекомендуемых факторов приведены в табл.7.

Таблица 7

Характеристики факторов	Факторы	Значения интервалов варьирования
Основные	Расход цемента Ц	20÷25% от расхода на основном уровне
	Расход воды В	10–15% от расхода на основном уровне
	Агрегатно-структурный фактор М/(М+К)	50% от значения основного уровня
Дополнительные	Расход добавки Д, % от веса цемента	50–70% от расхода на основном уровне
	Количество пылевидной фракции песка, % от веса всего количества песка	50–70% от расхода на основном уровне

5.22. При проведении опытов факторы варьируются на трех уровнях – основном, верхнем и нижнем. Верхний и нижний уровни получают, соответственно, прибавлением и вычитанием интервала варьирования к основному уровню. В качестве основного уровня принимается значение фактора в исходном составе (п.5.20).

5.23. Факторы и уровни их варьирования задаются в кодированных единицах. Условия кодирования для каждого фактора задаются соотношением

$$x_i = (X_i - X_0)/\Delta x, \qquad (16)$$

где x_i – кодированное значение фактора; X_i – натуральное значение фактора на верхнем и нижнем уровнях; X_0 – натуральное значение фактора на основном уровне; Δx – интервал варьирования фактора.

Любому значению фактора внутри области эксперимента соответствует его кодированное значение.

Для упрощения записей и последующих расчетов верхний уровень фактора обозначается (+1), нижний – (–1), основной – (0).

5.24. Эксперимент можно проводить по близким к D-оптимальным планам – трехфакторному или четырехфакторному (соответственно табл.8 и 15 прил.6).

В графе 1 табл.8 и 15 установлен порядок (последовательность) проведения опытов. В графах 2–5 помещены кодированные значения принятых факторов. Эти графы задают условия проведения опыта. В процессе реализации плана заполняются графы 12–13 табл.8 и графы 15–17 табл.15 прил.6 "выходы", представляющие собой результаты опытов в каждой строчке плана.

5.25. В зависимости от назначения керамзитобетона в качестве контролируемых параметров принимается жесткость (удобоукладываемость), прочность, плотность и др. Кроме того, для получения состава керамзитобетона на известняковом песке, отвечающего дополнительному требованию оптимальности по стоимости, рекомендуется в качестве одного из контролируемых параметров назначать стоимость 1 м^3 керамзитобетона.

5.26. Для получения указанных в п.5.25 контролируемых характеристик изготавливается требуемое количество опытных образцов для каждой строчки матрицы (табл.8 и 15 прил.6) из расчета получения каждой характеристики как среднего значения по трем образцам-близнецам.

При изготовлении опытных образцов следует контролировать объемную плотность свежеуложенной смеси. Отклонение фактической плотности от расчетной допускается не более 3%.

Испытание указанных образцов проводится согласно п.5.13.

5.27. Для обработки полученных результатов составляется расчетная матрица в зависимости от количества назначаемых факторов (см. таблицы прил.6).

5.28. Расчеты сводятся к получению математических моделей зависимости прочности R, плотности ρ и других показателей (п.5.25) от назначенных факторов в виде уравнений регрессии типа:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^{N} b_i x_i + \sum_{\substack{i=1 \\ j=1}}^{N} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^{N} b_{ii} x_i^2, \qquad (17)$$

где N – количество строчек (опытов) плана; x_i, x_j – кодированные значения факторов; b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii} – коэффициенты, определяемые по следующим формулам:

$$b_0 = k_1 (0y) - k_2 \sum_{i=1}^{N} (iiy), \qquad (18)$$

$$b_i = k_3 (iiy), \qquad (19)$$

$$b_{ij} = k_4 (ijy), \qquad (20)$$

$$b_{ii} = k_5 (iiy) - k_6 (oy) - k_7 \sum_{i=1}^{N} (iiy), \qquad (21)$$

где $oy = \sum_{u=1}^{N} y_u$, $(iy) = \sum_{u=1}^{N} x_{iu} y_u$, $(iiy) = \sum_{u=1}^{N} x_{iu}^2 y_u$,

$(ijy) = \sum_{u=1}^{N} x_{iu} x_{ju} y_u$, u – номер строки матрицы плана; i, j – номера столбцов: $k_1, \ldots, k_7$ – константы для определения коэффициентов в зависимости от количества факторов (табл.8).

5.29. Полученные уравнения проверяются на пригодность для описания исследуемых зависимостей путем статистического анализа их на основе следующей гипотезы: отклонение экспериментальных значений выходов от расчетных считается минимальным и статистически незначимо отличается от ошибки опыта.

Проверка выполняется в следующей последовательности:

а) по результатам параллельных (одинаковых) опытов опре-

Таблица 8

Матрица планирования близкого к D-оптимальному плану	Количество опытов N	Константы							
		k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	k_8
Трехфакторного	17	13/71	5/71	0,102	0,125	0,5	5/71	9/71	0,373
Четырехфакторного	30	11/114	3/114	0,0556	0,0625	0,5	1/38	13/114	0,386

деляется дисперсия эксперимента для каждого контролируемого параметра (строки 15–17 табл.8 и строки 25–30 табл.15 прил.6)

$$S_y^2 = S_E / (n_0 - 1), \tag{22}$$

где n_0 – количество нулевых строк плана; $S_E = \sum_{i=1}^{n_0} (\bar{y}_0 - y_0)^2$ – сумма квадратов отклонений контролируемого параметра (прочности, плотности и др.) в нулевых строчках матриц от его среднего значения, определяемого по формуле

$$\bar{y}_0 = \sum_{i=1}^{n_0} y_0 / n_0; \tag{23}$$

б) по результатам определения экспериментальных и теоретических значений контролируемого параметра (в каждой строке матрицы) определяется остаточная сумма квадратов по формуле

$$S_R = \sum_{i=1}^{N} (\hat{y}_i - y_i)^2, \tag{24}$$

где y_i – экспериментальное значение контролируемого параметра; $\hat{y}_i$ – теоретическое (расчетное) значение контролируемого параметра, получаемое путем подстановки кодированных значений факторов на каждой строчке в полученную модель;

в) по вычисленным значениям остаточной суммы квадратов S_R отклонений S_E контролируемого параметра в нулевых строчках определяется дисперсия адекватности по формуле

$$S_{LF}^2 = \frac{S_{LF}}{f_{LF}}, \tag{25}$$

где $S_{LF} = S_R - S_E$; $f_{LF} = f_{ad} = N - \left[\frac{(k+2)(k+1)}{2} - (n_0 - 1)\right]$ – число степеней свободы системы; k – количество факторов;

г) адекватность, определяющая статистическую значимость (пригодность) полученной математической модели, проверяется по F-критерию Фишера

$$F_p = S_{LF}^2 / S_y^2 < F_T, \tag{26}$$

где F_p – расчетное значение F-критерия; F_T – табличное значение F-критерия, назначаемое по прил.9, при принятом уровне значимости в зависимости от числа степеней свободы, с которыми вычислялись значения S_y^2 и S_{LF}^2;

д) при выполнении неравенства (26) принятая гипотеза подтверждается и проверяемая модель признается пригодной для описания исследуемой зависимости (прочности, плотности и др.). Если неравенство (26) не выполняется, т.е. $F_p > F_T$, модель считается неадекватной.

5.30. После проверки адекватности каждой математической модели определяется значимость ее коэффициентов по величинам доверительных интервалов

$$\Delta b = \pm t S_b, \tag{27}$$

где t – табличное значение t-критерия Стьюдента; для трех-, четырехфакторных планов второго порядка принимается равным $t \approx 2$; S_b – среднеквадратичная ошибка коэффициентов вычисляемая по значениям дисперсий коэффициентов S_b^2, которые определяются по формулам

$$S_{b_0}^2 = k_1 S_y^2 \tag{28}$$

$$S_{b_{ii}}^2 = k_8 S_y^2 \tag{29}$$

$$S_{b_i}^2 = k_3 S_y^2 \tag{30}$$

$$S_{b_{ij}}^2 = k_4 S_y^2, \tag{31}$$

где S_y^2 – дисперсия эксперимента, вычисленная по формуле (22); k_1, k_3, k_4, k_8 – константы, назначаемые по табл.8.

5.31. При выполнении условия $b > \Delta b$ коэффициент считается статистически значимым. Если это условие не выполняется, то коэффициент следует принимать равным нулю.

5.32. При окончательной записи математической модели после статистического анализа ее коэффициентов допускается введение любого статистически незначимого коэффициента, не противоречащего физическому смыслу описываемой зависимости и дополняющему технологическую интерпретацию модели.

5.33. После окончательного установления принятых уравнений регрессии (математических моделей) проводят аналитическую и графическую интерпретацию их, анализируют влияние каждого фактора на исследуемый параметр и назначают оптимальный состав, отвечающий принятым критериям оптимизации.

6. ПРИГОТОВЛЕНИЕ И ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ КЕРАМЗИТОБЕТОННОЙ СМЕСИ

6.1. Приемка и хранение пористых заполнителей – керамзита и известнякового песка – допускается только в закрытых складах. Причем, керамзит должен храниться строго пофракционно.

6.2. При поступлении заполнителей с разных заводов (карьеров) или различных марок необходимо организовать раздельное хранение их – по партиям, по фракциям.

6.3. Керамзит и известняковый песок со склада к месту дозирования следует транспортировать средствами, исключающими их разрушение и загрязнение (ленточными транспортерами, элеваторами, скиповыми устройствами). Применение для этих целей бульдозеров и скреперов не допускается.

Керамзит и известняковый песок в момент подачи на дозирование должны иметь положительную температуру, но не более 70°С.

6.4. Приемку и хранение цемента следует производить строго по партиям. Перед загрузкой новой партии необходимо полностью очищать емкости от цемента предыдущей партии. Склад должен быть оборудован так, чтобы можно было перекачивать цемент из банки в банку.

6.5. Дозирование керамзита и известнякового песка по утвержденным составам и производственным маркам керамзитобетона должно выполнятся автоматически объемно-весовым способом с точностью ±3%.

Корректировку состава смеси производят на основе контроля плотности керамзита в весовом дозаторе.

6.6. Цемент, вода и добавки дозируются по массе с точностью ±2%.

6.7. Приготовление керамзитобетонной смеси следует производить в циклических смесителях принудительного действия. Применение смесителей, дробящих или размалывающих заполнители или взбивающих техническую пену при перемешивании, не допускается.

6.8. Компоненты керамзитобетона в смеситель указанного типа загружаются в следующей последовательности:

все количество цемента и песка, 2/3 количества воды перемешивается до получения однородной смеси до 3 мин;

все количество керамзита и оставшееся количество воды, с учетом необходимой на растворение добавки, перемешивается до получения однородной смеси до 2 мин;

пластифицирующая добавка перемешивается 1 мин.

Примечание. Продолжительность перемешивания должна уточняться в производственных условиях.

6.9. Транспортирование керамзитобетонной смеси от смесителя к месту укладки должно производиться бесперегрузочными способами бетонораздатчиками, кюбелями и другими транспортными средствами, исключающими расслаивание смеси и потери ее составляющих. Применять ленточные транспортеры не следует.

6.10. Приготовленная и поданная к месту укладки керамзитобетонная смесь должна иметь:

требуемую плотность в уплотненном состоянии с отклонениями не более ±5%;

требуемую удобоукладываемость;

заданную жесткость или подвижность с отклонениями не более ±5 с при жесткости смеси до 20 с; ±10 с при жесткости 20–60 с; ±15 с при жесткости более 60 с и 1 см для смесей, подвижность которых измеряется осадкой стандартного конуса;

температуру в пределах 10–30°С;

расслоение керамзитобетонной смеси не допускается.

Смесь должна обеспечивать затвердевшему бетону указанную в проекте структуру, плотность, прочность и другие заданные характеристики (пп.3.5, 3.6).

6.11. В зимних условиях заполнители в момент загрузки в смеситель должны иметь положительную температуру и не содержать смерзшихся кусков.

Приготовление бетонной смеси должно вестись на подогретой воде, температуру которой устанавливает лаборатория, но не более 70°С. Бетонная смесь после приготовления в зимнее время должна иметь температуру не ниже 10°С.

7. ФОРМОВАНИЕ И ТВЕРДЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ И ИЗДЕЛИЙ

7.1. Изделия из керамзитобетона на известняковом песке в зависимости от их вида, назначения и объема производства в заводских условиях изготавливаются по поточно-агрегатной, конвейерной и стендовой технологии.

7.2. При формовании изделий должны быть достигнуты принятые при проектировании состава уровни соответствующих показателей: высокая однородность прочности, плотности, структуры и фактуры керамзитобетона по простиранию, объему и поверхности формуемого изделия, а также партии изделий.

7.3. Формование изделий включает в себя следующие этапы: подготовку форм с установкой арматуры, укладку и уплотнение керамзитобетонной смеси с последующей отделкой поверхности.

7.4. Для формования следует применять стальные формы, отвечающие требованиям ГОСТ 18886–73 с изм. "Общие технические требования" и требованиям других действующих стандартов на стальные формы для изготовления конкретных видов изделий.

7.5. Подготовка форм состоит из очистки, сборки (с учетом получения в них изделий размерами, соответствующими требованиям ГОСТов или технических условий) и смазки.

Очистку форм следует производить механическим путем (при помощи ручных электроинструментов, механических щеток и т.д.).

Смазка форм производится после их сборки и до установки арматуры и закладных деталей.

Для смазки форм используют составы, рекомендуемые Инструкцией по приготовлению и применению эмульсионной смазки 09–2 для форм при производстве железобетонных изделий.

7.6. Установка в формах арматурных каркасов, сеток и закладных деталей должна производиться в соответствии с рабочими чертежами изделий. Для предупреждения смещений и обеспечения требуемой толщины защитного слоя бетона арматуру и закладные детали следует фиксировать специальными приспособлениями.

При изготовлении предварительно-напряженных изделий напряжение арматуры следует производить в соответствии с проектом.

7.7. При укладке керамзитобетонной смеси в формы промежуток времени в минутах от момента ее выгрузки из смесителя до укладки и уплотнения устанавливается лабораторией, на основе испытаний кинетики структурообразования и должен быть не более:

для смесей без химических добавок – 45;

для смесей с пластифицирующими добавками – 30;

для предварительно разогретых смесей – 15.

Укладку керамзитобетонной смеси следует производить без перерывов. Допускаются перерывы при укладке отдельных слоев до 20 мин.

7.8. Укладка и уплотнение керамзитобетонной смеси должны осуществляться технологическими способами, обеспечивающими при минимальной трудоемкости формования равномерное уплотнение бетонной смеси по всему объему изделия.

7.9. Удобоукладываемость керамзитобетонной смеси для каждого способа формования определяется лабораторными исследованиями по существующим методикам. При этом следует учитывать, что в зависимости от расхода цемента, зернового состава, наличия пластифицирующих добавок однородность керамзитобетона в изделиях достигается при разной подвижности смеси.

7.10. При всех способах формования необходимо обеспечить предельное уплотнение смеси и не допускать ее расслоения. При этом укладка смеси должна производиться равномерно, соблюдая горизонтальность уровня уложенной смеси, без наклонных слоев, перетоков, выделения или вытекания растворной части из смеси через неплотности стыков элементов формы.

7.11. Предельная длительность укладки и уплотнения керамзитобетонной смеси в формуемом элементе устанавливается на основании опытов, которые позволяют установить критическую точку графика пластической прочности смеси по времени.

7.12. Формование изделий, имеющих наружный облицовочный слой, необходимо производить в горизонтальных формах наружной фасадной стороной вниз ("лицом вниз") или вверх ("лицом вверх") в зависимости от конструктивных особенностей изделий, принятой технологии, способа и требуемого вида отделки.

При этом следует учесть, что при формовании "лицом вниз" обеспечивается лучшее сцепление облицовочного слоя с керамзитобетоном и повышается долговечность данного слоя.

7.13. Выравнивание открытой горизонтально формуемой поверхности необходимо производить лыжным финишером, а заглаживание – затирочными валками с подсыпкой сухой или жесткой растворной смеси из цемента и известнякового песка предельной крупностью 1,25 мм в соотношении (1:4) – (1:6).

7.14. Тепловая обработка изделий производится для достижения керамзитобетоном требуемой распалубочной, отпускной, проектной или передаточной прочности в наиболее короткие сроки, при одновременном соблюдении требований по экономии цемента и обеспечению заданного качества бетона и изделий из него.

7.15. Выбор режимов и способов твердения изделий из керамзитобетона на известняковом песке следует производить в зависимости от вида источников тепла, принятой технологии производства в соответствии с требованиями Руководства по тепловой обработке бетонных и железобетонных изделий (М., Стройиздат, 1974).

7.16. Режим тепловой обработки следует назначать путем установления оптимальной длительности отдельных его периодов (предварительная выдержка, подъем температуры, изотермический прогрев и остывание).

Общая продолжительность режима тепловой обработки с момента окончания формования должна быть не более, ч:

16 – для изделий из конструкционного керамзитобетона;

14 – для изделий из конструкционно-теплоизоляционного керамзитобетона;

7.17. Тепловую обработку изделий из конструкционного керамзитобетона на известняковом песке следует производить насыщенным паром или паровоздушной смесью, обеспечивающими относительную влажность среды на стадии изотермического прогрева 90–100%. Температура среды при изотермическом прогреве не должна быть более 85°С, при использовании портландцемента и 95°С при использовании шлакопортландцемента.

7.18. Для конструкционно-теплоизоляционного керамзитобетона на известняковом песке (марок до 150 включительно) режим тепловой обработки должен обеспечивать не только требуемую отпускную и проектную прочность, но и отпускную влажность бетона в изделиях, не превышающую заданную.

В целях снижения отпускной влажности изделий их тепловлажностную обработку целесообразно производить в условиях, способствующих испарению влаги из бетона. Такой прогрев может быть осуществлен в камерах, оборудованных ТЭНами, калориферами, инфракрасными излучателями или газовыми горелками с устройством в них дополнительной вентиляции в процессе остывания изделий. Максимальная температура среды в таких камерах может быть повышена (в зависимости от необходимой длительности пропаривания) до 120–150°С. С этой же целью рекомендуется тепловлажностную обработку проводить не в ямных камерах, а в термоформах с открытой поверхностью, контактирующей с окружающей средой.

7.19. Для ускорения оборачиваемости форм и камер при изготовлении изделий из конструкционно-теплоизоляционного керамзитобетона на известняковом песке целесообразно применение сокращенных режимов, при которых продолжительность тепловлажностной обработки должна определяться временем, необходимым для достижения в центре наибольшего сечения изделия температуры 65–80°С (меньшие значения для изделий толщиной 35–40 см, большие – для изделий толщиной 20–30 см). Этот период разогрева должен определяться на основе экспериментов или расчетом в соответствии с методикой, изложенной во Временных указаниях по применению электрических, газовых инфракрасных излучателей и продуктов сгорания природного газа для тепловой обработки керамзитобетонных изделий в щелевых камерах непрерывного действия. ВСН 76-5-71 (М., Минтяжстрой, СССР, 1971).

При дальнейшем нахождении распалубленных изделий в теплом помещении с температурой среды 15–20°С в период медленного естественного их

остывания, продолжающегося 4–6 ч, прочность керамзитобетона в изделиях увеличивается и достигает требуемого отпускного значения.

7.20. Время начала разогрева отформованного керамзитобетона устанавливается не ранее перехода кривой структурообразования из периода формования в период упрочнения, согласно методике, изложенной в "Рекомендациях по технологии заводского производства и контролю качества легкого бетона и крупнопанельных конструкций жилых зданий" (М., ЦНИИЭП жилища, 1980) или конца схватывания цемента.

7.21. Для уменьшения деструктивных процессов, возникающих в твердеющем бетоне, при тепловой обработке рекомендуется отформованное изделие из керамзитобетона на известняковом песке выдерживать в цехе или в камере при температуре 15–20°С не менее:

1,5 ч при сухом прогреве и в термоформах;

2 ч при пропаривании.

При применении добавок следует пользоваться специальными режимами.

7.22. Режимы тепловой обработки отформованных изделий из керамзитобетона на известняковом песке следует назначать в соответствии с табл.9, а также с п.6 СН 483-76.

Таблица 9

Проектная марка бетона	Способ тепловой обработки	Толщина бетона в изделии, мм	Режим тепловой обработки, ч
М50–М150	Сухой прогрев при температуре до 150°С	До 300, 300 и более	2+5+3 2+6+3
М50–М150	Прогрев в термоформах или камерах глухим паром при температуре 85–95°С	До 300, 300 и более	3+5+2 3+6+2
М150–М250	Тепловлажностная обработка при температуре 80–85°С	До 200, 200–300	3+6+2 3+7+2
М150–М250	Тепловой прогрев в кассетных формах при температуре 95–100°С	До 200	2+4+3

7.23. Продолжительность выдерживания отформованных изделий из конструкционно-теплоизоляционного керамзитобетона на известняковом песке плотной структуры до начала тепловой обработки и скорость подъема температуры должны устанавливаться опытным путем с учетом жесткости смеси, условий прогрева изделий. Их ориентировочные значения приведены в табл.10.

Таблица 10

Жесткость смеси, с	Подвижность смеси, см	Условия тепловой обработки	Предварительная выдержка, ч	Скорость подъема температуры, град/ч
Более 30	–	Сухой прогрев в термоформе Пропаривание	0,5–1 1–1,5 1,5–2	60–70 40–50 20–30
10–30	–	Сухой прогрев в термоформе Пропаривание	1–1,5 1,5–2 2–3	40–50 30–40 20–30
–	1–3	Сухой прогрев в термоформе Пропаривание	1,5–2 2–3 3–4	40–50 30–40 20–30

Скорость подъема температуры среды в камере для изделий их конструкционных керамзитобетонов на известняковом песке должна назначаться в зависимости от начальной прочности бетона в соответствии с данными табл. 11.

Для изделий, к бетону которых предъявляются повышенные требования по морозостойкости, длительность предварительного выдерживания должна быть не менее 3 ч, а скорость подъема температуры – не более 25 град/ч.

7.24. Скорость остывания изделий из керамзитобетона на известняковом песке после изотермического прогрева не должна быть более 40 град/ч. Остывание изделий из бетонов, к которым предъявляются повышенные требования по морозостойкости и водонепроницаемости, а также изделий с отделочными слоями следует производить со скоростью не более 20 град/ч.

При выгрузке изделий из камеры температурный период между поверхностью изделий и температурой окружающей среды не должен превышать $40^{\circ}C$.

7.25. При тепловом прогреве изделий в кассетных формах подъем температуры должен производиться в течение 1–3 ч. Для получения распалубочной прочности бетона выдерживание изделий в кассетах при указанных температурах в зависимости от толщины изделия, подвижности и плотности бетона принимается от 3 до 5 ч. После этого пуск пара или горячего теплоносителя в паровой отсек прекращается и изделия остывают в форме: при двухкратном ее обороте – 3–4 ч, при трехкратном – 2–3 ч, а затем подвергаются распалубке.

Таблица 11

Начальная прочность бетона при сжатии, МПа (кгс/см^2)	Скорость подъема температуры среды камеры, град/ч
До 0,1 (1)	10–15
0,1–0,2 (1–2)	15–25
0,2–0,4 (2–4)	25–35
0,4–0,5 (4–5)	35–45
Более 0,5 (5)	45–60

Примечания: 1. Начальная прочность бетона определяется на образцах-кубах с ребром не менее 10 см при испытании их на прессах мощностью не более 25 кН. 2. Меньшие значения скорости подъема приведены для изделий толщиной до 20 см, большие – для изделий толщиной более 20 см.

8. РАСПАЛУБКА, ДОВОДКА, ХРАНЕНИЕ И ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ И ИЗДЕЛИЙ

8.1. Способ распалубки изделий выбирается с учетом конструкций форм и матриц.

В процессе распалубки порядок передачи напряжения арматуры на бетон назначается с учетом условий и способа натяжения, указанных в технических условиях на данный вид изделий.

8.2. Распалубка изделий из керамзитобетона на известняковом песке должна производиться при разнице температур окружающей среды и открытой поверхности изделий не более $40^{\circ}C$ и выполняется приемами, исключающими повреждение кромок, углов и поверхностных слоев изделия.

8.3. При распалубке крупноразмерных изделий, не рассчитанных на работу при изгибе, изделия следует поднимать и устанавливать в рабочее положение при помощи специальных траверс, кантователей и других устройств.

8.4. Снимаемые с формовочных линий изделия осматривают и маркируют. При осмотре изделия сортируются, выявляется брак и продукция, требующая дополнительного ремонта.

Годные изделия после внешнего осмотра маркируются штампом ОТК и направляются на склад готовой продукции или на отделку и комплектацию. Окончательную доводку и комплектацию изделий производят на

специализированных отделочных постах или конвейерных линиях с применением механизированного инструмента. При этом проводят мелкий ремонт поверхности ребер.

8.5. Изделия из керамзитобетона на известняковом песке при температуре наружного воздуха ниже минус 5°С необходимо выдерживать в теплом помещении при температуре 15–20°С не менее 4 ч.

8.6. Готовые изделия, принятые ОТК, следует хранить и транспортировать в рабочем положении в условиях, исключающих их увлажнение, в соответствии с требованиями ГОСТ 13015.1–81 "Изделия железобетонные и бетонные. Общие технические требования", Временных указаний по перевозке унифицированных сборных железобетонных деталей и конструкций промышленного строительства автомобильным транспортом, Руководство по перевозке железнодорожным транспортом сборных крупноразмерных железобетонных конструкций промышленного и жилищного строительства, а также действующих ГОСТов и ТУ на конкретные виды изделий.

9. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА КОНСТРУКЦИЙ И ИЗДЕЛИЙ, А ТАКЖЕ ИСХОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

9.1. Предприятия, выпускающие изделия из керамзитобетона на известняковом песке, обязаны осуществлять систематический пооперационный контроль качества, который включает:

а) испытание пористых заполнителей и арматуры в соответствии с действующими ГОСТами и техническими условиями;

б) контроль выполнения принятой технологии производства изделий и конструкций, а также работы технологического оборудования и приборов;

в) испытания бетонной смеси и контрольных образцов в соответствии с действующими ГОСТами и техническими условиями;

г) приемку готовой продукции по действующим стандартам и техническим условиям с учетом требований настоящих Рекомендаций.

9.2. При пооперационном контроле необходимо следить за правильным дозированием исходных материалов, соблюдением режимов приготовления и укладки бетонной смеси; за сборкой и подготовкой форм, установкой в проектное положение арматуры и закладных деталей; соблюдением режимов тепловой обработки, правил хранения и отгрузки изделий.

9.3. При приемке материалов от заводов-изготовителей и непосредственно перед приготовлением бетонной смеси необходимо проверять их качество.

9.4. Качество цемента проверяют по срокам схватывания и активности по ГОСТ 310.3–76 и ГОСТ 310.4–81.

Цемент должен поставляться постоянно прикрепленным цементным заводом-поставщиком в соответствии с согласованными техническими условиями.

Цемент данной партии со склада на производство отпускается с разрешения лаборатории лишь после получения результатов заводского лабораторного входного контроля.

9.5. Керамзит проверяют по насыпной плотности, зерновому составу, прочности по ГОСТ 9759–83.

9.6. Качество песка по зерновому составу контролируют согласно ГОСТ 8736–77 с изм., а его прочность по методике, изложенной в прил.5.

9.7. Зерновой состав, прочность и насыпная плотность керамзита и песка проверяются:

при приемке – для каждой партии из усредненной пробы, которую получают перемешиванием отдельных проб, набранных за смену;

перед приготовлением смеси – пробы отбираются из расходных емкостей не менее двух раз в смену.

9.8. Концентрация раствора пластифицирующей добавки проверяется ежедневно пробами не менее 1 л.

9.9. Арматуру и закладные детали проверяют по ГОСТ 10922–75.

9.10. Качество керамзитобетонной смеси контролируют систематически по ГОСТ 10181.0–81, ГОСТ 10181.1–81, ГОСТ 10181.2–81, ГОСТ 10181.3–81, ГОСТ 10181.4–81. При определении удобоукладываемости смеси про-

бы необходимо отбирать непосредственно после приготовления и перед формованием не реже двух раз в смену.

9.11. Плотность и прочность керамзитобетона на известняковом песке проверяют ежедневно не менее чем на двух сериях образцов для каждой партии изделий. В каждой серии должно быть не менее трех кубов размером 15x15x15 см. Образцы должны твердеть в тех же условиях, что и изделия. Испытывать их необходимо через 4 ч после тепловой обработки для проверки отпускной прочности бетона по ГОСТ 10180–78 и плотности по ГОСТ 12730.1–78.

Для определения других свойств керамзитобетона (прочности при растяжении, коэффициента теплопроводности, сопротивления водопроницанию, морозостойкости и др.) изготавливают дополнительные образцы требуемой формы и размеров и испытывают их по методикам действующих стандартов раз в квартал или при изменении технологии изготовления изделий.

9.12. Результаты испытания контролируемых образцов по прочности и плотности ежемесячно или ежеквартально подвергаются статистической обработке в соответствии с методикой, изложенной в прил.7. Обработка оценивает однородность по прочности и плотности, устанавливает значения требуемой прочности для приемки изделий, в последующий контрольный период, выявляет необходимые уровни плотности и прочности бетона для контроля и регулирования технологии, устанавливает целесообразность изменения состава или технологии изготовления для получения заданных характеристик.

9.13. Прочность и плотность бетона удовлетворяет проектным требованиям, если прочность испытанных образцов не ниже требуемой, а плотность не превышает проектное значение более чем на 3%.

9.14. Предел прочности при растяжении (R_p) рекомендуется определять раскалыванием образцов-кубов 15x15x15 см в количестве не менее трех штук.

9.15. Коэффициент теплопроводности определяется по ГОСТ 7076–78; водопроницаемость – по ГОСТ 12730.5–78; морозостойкость – по ГОСТ 10060–76.

Эти показатели проверяют до начала производства изделий, а затем в сроки, указанные в стандартах и технических условиях на отдельные виды изделий.

9.16. Проектное положение стержневой арматуры в изделиях проверяют приборами, регистрирующими ее положение без разрушения бетона. При их отсутствии допускается вырубка борозд до арматуры с последующей заделкой.

9.17. При приемке готовых изделий необходимо проверять:

а) плотность и прочность при сжатии;

б) влажность изделий;

в) наличие выколов, трещин и других видимых дефектов.

9.18. Изделия принимают партиями, размер которых устанавливают в соответствии с нормативными документами. Показатели качества изделий должны удовлетворять требованиям соответствующих ГОСТов.

Количество мест проверки положения арматуры устанавливается приемщиком в зависимости от вида армирования изделий.

9.19. Массу изделий необходимо определять для каждой партии, взвешивая их с помощью динамометра с точностью ±2%.

Отклонения массы должны соответствовать требованиям стандарта на данное изделие.

9.20. Контроль качества бетона в изделиях для каждой партии выполняется методом высверливания и испытания кернов по методике, разработанной и изложенной в "Рекомендациях по технологии заводского производства и контролю качества легкого бетона и крупнопанельных конструкций жилых зданий" (М., ЦНИИЭП жилища, 1980), а также стандартными неразрушающими методами.

9.21. Отбор изделий и их испытание по прочности, жесткости и трещиностойкости производится согласно ГОСТ 8829–77 и в соответствии с требованиями специальных стандартов, технических условий и рабочих чертежей на эти изделия.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ТИПЫ ИЗДЕЛИЙ ИЗ КЕРАМЗИТОБЕТОНА НА ИЗВЕСТНЯКОВОМ ПЕСКЕ И СПОСОБЫ ИХ ФОРМОВАНИЯ

Наименование конструкций и изделий	Подвижность или жесткость бетонной смеси, рекомендуемые для различного способа формования					
	Поточно-агрегатная или конвейерная технология		Стендовая технология			
	на виброплощадках		в горизонтальном положении с уплотнением глубинными и поверхностными вибраторами	в формах с навесными вибраторами высотой, см		вертикальные кассетные установки
	без пригруза	с пригрузом		до 80	более 80	
Панели внутренних несущих стен	1–3 см	20–40 с	1–3 см	–	–	6–12 см
Панели перекрытий	1–3 см	20–40 с	1–3 см	–	–	6–12 см
Плиты покрытий	1–3 см	20–40 с	1–3 см	–	–	6–12 см
Панели наружных стен	–	40–50с	1–3 см	–	–	–
Стеновые блоки	20–40 с	–	–	1–3 см	20–40 с	–

СВОДНЫЕ ДАННЫЕ О ХАРАКТЕРИСТИКАХ КЕРАМЗИТА, ИЗВЕСТНЯКОВОГО ПЕСКА И ИХ ИСХОДНЫХ ПОРОД РАЗЛИЧНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Применение легких бетонов в жилищном строительстве – один из путей снижения материалоемкости за счет уменьшения их массы. При этом особую важность приобретает вопрос использования в качестве заполнителей для таких бетонов дешевых местных строительных материалов.

В целом ряде районов СССР имеются значительные запасы легкоплавких глин, пригодных для изготовления керамзитового гравия, который может быть использован в качестве крупного заполнителя в керамзитобетоне. Традиционным мелким заполнителем в таком бетоне является кварцевый песок. Однако в некоторых регионах качественные кварцевые пески, удовлетворяющие требованиям ГОСТ, отсутствуют. Для строительных работ и производства бетона в таких случаях применяют морской песок, который сильно загрязнен ракушкой и имеет недостаточную крупность ($M_K < 2$). Кроме того, подводные выработки песка в прибрежной зоне нарушают геолого-гидрологический режим побережья, что ведет к образованию береговых оползней.

Помимо кварцевого песка в качестве мелкого заполнителя в керамзитобетоне используют также керамзитовый песок, который имеет высокую себестоимость и низкий коэффициент выхода.

При этом применение в керамзитобетоне карьерных отходов от распиловки низкопрочных известняков-ракушечников в первую очередь в тех районах, где этот камень является местным строительным материалом, взамен кварцевого (морского) и керамзитового песков способствует охране окружающей среды, решает проблему утилизации отходов камнепиления без особых технологических трудностей на его обогащение.

Результаты многочисленных исследований свойств керамзитобетона на известняковом песке, а также конструкций на его основе показывают техническую возможность применения такого бетона взамен тяжелого бетона и керамзитобетона на традиционных мелких заполнителях – кварцевом и керамзитовом песках.

В табл.1 и 2 приведены соответственно характеристики известняковых песков и керамзита.

Таблица 1

Месторождение песка	Прочность, МПа (кгс/см²)		Насыпная плотность песка, кг/м³	Гранулометрический состав песка						Модуль крупности $M_к$
	камня	песка		Полные остатки на ситах, %						
				2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	прошло через сито 0,14 мм	
Одесская область										
Алтестовское	1,1–1,6 (11–16)	2,0–2,4 (20–24)	1500	17,4	27,6	43,7	63,2	75,8	24,2	2,41
Булдынское	0,6–1,0 (6–10)	1,5–2,0 (15–20)	1000	18,5	29,2	47,2	64,7	76,6	23,3	2,62
Главанское	0,8–1,3 (8–13)	1,7–2,0 (17–20)	1650	14,8	37,2	56,6	65,2	81,4	18,6	2,65
Красно-Окнянское	6,0–8,0 (60–80)	–	2200	22,6	47,9	61,1	72,7	86,8	13,2	2,86
Орловское	0,6–1,0 (6–10)	1,5–2,1 (15–21)	1200	11,6	23,4	50,1	69,7	87,9	22,1	2,42
Саратское	2,5–3,5 (25–35)	3,5–4,0 (35–40)	1600	19,4	29,1	47,7	62,1	76,2	23,8	2,52
Крымская область										
Бишераньское-2	0,4–0,7 (4–7)	1,6 (16)	1200	19,6	43,2	56,0	69,4	89,2	10,8	2,77
Бишераньское-3	0,4–1,0 (4–10)	3,8 (38)	1400	18,6	29,4	49,3	65,2	77,3	22,7	2,40
Евпаторийское	0,4–1,0 (4–10)	2,2 (22)	1400	28,0	44,0	57,0	71,5	91,5	8,5	2,92
Керченское	0,7–1,5 (7–15)	1,6 (16)	1250	20,1	42,3	58,0	69,6	88,8	11,2	2,79
Сакское	0,7–1,5 (7–15)	2,7 (27)	1400	23,0	46,0	59,2	73,1	90,6	9,4	2,92
МССР										
Гидигическое	10,0 (100)	–	1370	29,5	35,0	52,5	69,5	83,5	16,5	2,70
Криковское	1,4–2,2 (14–22)	3,1–3,4 (31–34)	1350	2,0	7,5	17,5	41,0	71,0	29,0	1,4
Микауцкое	–	–	1300	14,0	45,0	55,0	71,0	84,0	16,0	2,69
Прункуловское	–	–	1290	23,5	41,7	51,0	70,0	84,6	15,4	2,70
Калмыцкая АССР										
Чолун-Хамурское	1,0–2,7 (10–27)	2,5–3,0 (25–30)	1200	7,1	15,5	37,1	68,6	81,7	18,3	2,1
Ростовская область										
Жирновское	–	–	1325	–	–	69,4	–	–	12,9	3,27

Таблица 2

Месторождение глины	Температура вспучивания, °С	Завод-изготовитель керамзита	Гранулометрический состав, %				Основные физико-механические характеристики			
			0–5 мм	5–10 мм	10–20 мм	20–40 мм	ρ_0 товарной смеси, кг/м^3	V_ρ, %	$R_{цил}$ товарной смеси, МПА (кгс/см^2)	V_R, %
Орловское (Одесская область)	(1100–1175)*	Одеспромстрой	5	15	62	18	509	6,8	2,7 (27)	14,7
То же	(1100–1175)*	Одессельстрой	6	23	51	20	555	7,1	3,2 (32)	16,2

* При введении 3–5% органических добавок.

ПРИМЕРНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ НА ПОСТАВКУ ПРЕДПРИЯТИЮ-ИЗГОТОВИТЕЛЮ (ДСК, ЗЖБИ) КЕРАМЗИТА И ИЗВЕСТНЯКОВОГО ПЕСКА

(Приложение к договору между поставщиком и заказчиком)

Керамзитовый гравий

1. Керамзит должен поставляться равномерно и ежесуточно по следующей спецификации: фракции 10–20 мм – 60% (300 м^3); 5–10 мм – 40% (200 м^3).

2. Керамзитовый гравий, отвечающий требованиям ГОСТ 9759–83, должен быть однородным по насыпной плотности и прочности в пределах, указанных в табл.1.

Таблица 1

Фракция, мм	Плотность по качеству, кг/м^3		Прочность по качеству, МПа (кгс/см^2)	
	высшей категории	1 категории (браковочный максимум)	высшей категории	1 категории (браковочный минимум)
10–20	480–25	480–50	2,5–0,3 (25–3)	2,5–0,6 (25–6)
5–10	540–30	540–60	3,2–0,5 (32–5)	3,2–0,8 (32–8)
Стандартная смесь (40% фракции 5–10 мм + 60% фракции 10–20 мм)	500–25	500–50	2,5–0,3 (25–3)	2,5–0,6 (25–6)

3. Засоренность фракции керамзита зернами большей крупности не должна превышать 5% по насыпному весу.

4. Керамзит должен поставляться автотранспортом с емкостями объемом 30–40 м^3.

5. При поступлении керамзита выгрузка начинается не позднее, чем через 15 мин после прибытия машины. В течение этого срока определяют насыпную плотность и прочность, а также чистоту фракций керамзита. В случае несоответствия требованиям Технических условий на поставку приемка не производится, а на сопроводительных документах отмечается результат приемочного контроля.

6. Один раз в месяц выполняют сверку сопроводительных и приемочных результатов испытаний и составляют соответствующий акт сверки, служащий основанием для расчетов за поставляемый керамзит, с отнесением к соответствующей категории качества.

Известняковый песок

7. Известняковый песок (крупностью 0–5 мм) может поставляться без разделения на фракции равномерно и ежесуточно в количестве не менее 400 тн.

Зерновой состав песка должен находиться в пределах, указанных в табл.2 и соответствовать характеристикам рис.1.

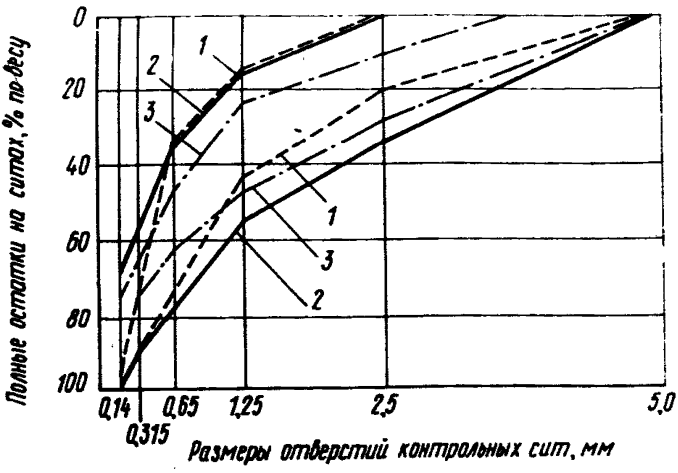

Рис. 1. Предельные кривые просеивания песка

1 – **принимаемые в соответствии с требованием ГОСТ 10268 – 80;** *2* – **то же, в соответствии с настоящими Рекомендациями;** *3* – **известняковые пески южного региона**

Таблица 2

Полные остатки на ситах, %							Модуль крупности
5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	Прошло через сито 0,14 мм	
0–5	10–30	25–45	50–70	65–85	75–92	8–25	2,2–3,2

Влажность песка не должна быть более 10% по массе.

8. Прочность известнякового песка, определенная сдавливанием в цилиндре его зерен крупнее 1,25 мм, должна быть не менее 1,2 МПа (12 кгс/см^2).

9. Поставщик обязан сопровождать каждую партию поставляемого песка паспортом, в котором указывают:

наименование и адрес предприятия-поставщика;

номер и дату выдачи паспорта;

наименование и адрес потребителя (ДСК, ЗЖБИ);

номер партии и количество песка;

зерновой состав песка;

марку по прочности, содержание отдельно глинистых частиц.

10. Песок может поставляться всеми видами транспорта с соблюдением правил, действующих на соответствующем виде транспорта.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

ПРИМЕРНЫЕ ИСХОДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ ДЛЯ ПРИВЯЗКИ ТИПОВЫХ ПРОЕКТОВ, ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОСТАВОВ БЕТОНА И КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА

Наименование заполнителя – керамзитовый гравий ГОСТ 9759–83.
Поставщик – завод керамзитового гравия комбината "Одеспромстрой".

Технические характеристики керамзита за период с марта по июнь приведены в табл.1.

Таблица 1

Характеристика	Показатели по фракциям		
	5–10 мм	10–20 мм	Стандартная смесь
Насыпная плотность пробы, кг/м^3	518	496	505
То же, средняя за 150 дн, кг/м^3	530	494	508
Межзерновая пустотность пробы, %	42	48	45,6
Изменчивость за 150 дн, насыпной плотности, %	3,4	4,2	3,88
Расчетная насыпная плотность, кг/м^3	550	515	530
Водопоглощение пробы за 48 ч, % по весу	25	26,5	26
Прочность пробы по цилиндру, МПа (кгс/см^2)	3,0 (30)	2,8 (28)	2,9 (29)
То же, средняя за 150 дн, МПа (кгс/см^2)	3,2 (32)	2,6 (26)	2,9 (29)
Изменчивость прочности за 150 дн, %	10,5	13,4	12,3
Расчетная прочность, МПа (кгс/см^2)	2,9 (29)	2,4 (24)	2,6 (26)
Конструктивное качество за 150 дн	527	446	479

$$K_{кк} = (R_{сж.з} / \rho_н) 10^5$$

Наименование заполнителя – известняковый песок.
Поставщик – Орловский карьер известняка-ракушечника производственного объединения "Одесстройматериалы".

Технические характеристики известнякового песка (усредненные) за период с марта по июнь приведены в табл.2.

Таблица 2

Гранулометрический состав, полные остатки на ситах, %					Модуль крупности $M_к$	Насыпная плотность $\rho_н$, кг/м^3	Прочность по цилиндру, R, МПа (кгс/см^2)	Плотность зерен в цементном тесте $\gamma_{цт}$ г/см^3
2,5	1,25	0,63	0,315	0,14				
13	22,5	54,6	69,8	84,2	2,44	1240	1,8 (18)	2,4

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ИЗВЕСТНЯКОВОГО ПЕСКА*

1. Определение прочности песка производят сжатием зерен крупнее 1,25 мм в стальном цилиндре с внутренним диаметром и высотой 120 мм путем погружения пуансона на глубину 20 мм при высоте сжимаемого слоя 100 мм и плотности укладки зерен, соответствующей объемной насыпной плотности просеянного песка (рис.1).

2. Аппаратура:

гидравлический пресс (ГОСТ 8905–82);

стальной цилиндр с поддоном, пуансоном и контрольным вкладышем (рис.1);

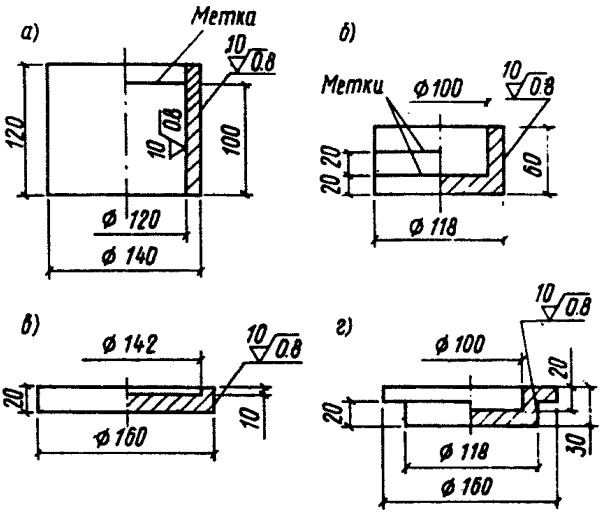

Рис.1. Стальной цилиндр с поддоном, пуансоном и котрольным вкладышем для определения прочности (марки) песка
а **– цилиндр;** ***б*** **– пуансон;** ***в*** **– поддон;** ***г*** **– контрольный вкладыш**

весы настольные гирные и циферблатные;

сушильный шкаф.

3. Подготовка пробы. Отдельную или среднюю пробу песка массой 30 кг разделяют на две частные пробы массой 8 и 22 кг. Частную пробу массой 8 кг высушивают до постоянной массы. Вторую частную пробу массой 22 кг оставляют в состоянии естественной влажности.

4. Проведение контроля. Из частной пробы, высушенной до постоянной массы, определяют насыпную плотность. После этого проба может быть использована для определения зернового состава, плотности зерен, содержания отдельно глинистых частиц и удельной поверхности песка.

Пробу песка массой 22 кг в состоянии естественной влажности насыщают водой комнатной температуры в течение 2 ч так, чтобы уровень воды в сосуде был выше верха песка не менее чем на 20 мм.

Насыщенную пробу промывают сквозь сито с сеткой (размер отверстий 1,25 мм). Остаток на сите высушивают до постоянной массы и отвешивают пробу, масса которой, г, определяется по формуле:

---

*Методика принята по РСТ УССР 5014-82.

$$Q = \rho_н v,$$

где $\rho_н$ – насыпная плотность просеянного песка (остаток на сите 1,25), высушенного до постоянной массы, г/см^3; v – объем песка в цилиндре диаметром 120 мм при высоте слоя песка 100 мм, см^3 (1130 см^3).

Устанавливают цилиндр на контрольный вкладыш. При этом в цилиндре образуется свободное пространство высотой 100 мм, в которое постепенно засыпают всю пробу крупной фракции песка Q так, чтобы верхний уровень песка совпадал с краями целиндра. Совпадение верхнего уровня песка с краями цилиндра достигается уплотнением песка путем постукивания цилиндра о стол и легкого притирания песка металлической пластинкой. Отклонение массы пробы крупной фракции песка, помещенного в цилиндре, от ее расчетной массы Q не должно превышать ± 1 %.

После укладки пробы крупной фракции песка массой Q цилиндр закрывают поддоном, переворачивают, снимают контрольный вкладыш и проводят испытание песка на прочность. Для этого цилиндр с пуансоном помещают на плиту гидравлического пресса, сдавливают песок до погружения пуансона на 20 мм (до верхней риски) и отмечают показание стрелки манометра в этот момент.

5. Обработка результатов. Прочность при сжатии песка в цилиндре $\sigma_{сж.п.}$ вычисляют с точностью до 0,01 МПа (0,1 кгс/см^2) по формуле

$$\sigma_{сж.п.} = P/F,$$

где P – нагрузка при сжатии песка на глубину 20 мм; F – площадь поперечного сечения цилиндра.

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА И НАЗНАЧЕНИЯ СОСТАВОВ КЕРАМЗИТОБЕТОНА НА ИЗВЕСТНЯКОВОМ ПЕСКЕ

Пример 1. Требуется запроектировать состав керамзитобетона на известняковом песке марки М50 с плотностью 1200 кг/м^3 для изготовления стеновых блоков в вертикальных формах с навесными вибраторами. Тепловлажностная обработка по режиму 3+6+2.

На основании проведенной оценки пригодности исходных материалов (керамзита, известнякового песка, цемента) в соответствии с действующими нормами и указаниями настоящих Рекомендаций (см. разд.9) получили следующие характеристики этих материалов: цемент марки М 400; керамзитовый гравий, известняковый песок (табл.1).

Таблица 1

Материал	Насыпная плотность, кг/м^3	Плотность в цементном тесте, кг/м^3	Прочность в цилиндре, МПа (кгс/см^2)	Водопоглощение, % через сут	Объем межзерновых пустот, %	Модуль крупности	Влажность, %
Керамзит фракций мм:							
5–10	450	890	2,6 (26)	16.	37	–	4
10–20	400	840	2,1 (21)	24	48	–	4
Песок известняковый	1250	2420	1,6 (16)	5,2	–	2,4	5

Проектирование состава керамзитобетона

В соответствии с разд.5, настоящих Рекомендаций, требуемый состав должен обеспечить получение конструкционно-теплоизоляционного керамзитобетона заданной плотности 1200 кг/м^3 при проектной прочности 5,0 МПа (50 кгс/см^2)

По прил.1 назначаем требуемую подвижность ОК-3 см. По п.5.10 принимаем исходное значение агрегатно-структурного фактора М/(М+К) = 0,3.

По рис.1 назначаем исходный расход цемента

$$Ц = 180 \text{ кг/м}^3 = 58 \text{ л/м}^3.$$

По табл.5 назначаем исходный расход воды

$$В = 190 \text{ л/м}^3.$$

Определяем общий расход крупного и мелкого заполнителя по формуле (3)

$$М + К = 1000 - 58 - 190 = 752 \text{ л/м}^3.$$

Определяем исходный расход известнякового песка по формуле (4)

$$М = 0{,}3 \cdot 752 = 226 \text{ л/м}^3.$$

Исходный общий расход керамзита по формуле (5) равен

$$К = 752 - 226 = 526 \text{ л/м}^3$$

Согласно п.4.6, предварительно принимаем соотношение фракций по объему $V_{10-20} / V_{5-10} = 2$.

Исходный расход керамзита по фракциям

$$К_{5-10} = 175 \text{ л/м}^3,$$
$$К_{10-20} = 351 \text{ л/м}^3.$$

Учитывая, что дозирование исходных материалов производится по объему с контролем по массе, для получения расхода материалов в единицах массы с учетом данных табл.2 производим пересчет расходов в кг/м^3.

Полученный исходный оптимальный состав приведен в табл.2 настоящих Рекомендаций.

Таблица 2

Ц		В,	Керамзит				Известняковый песок	
			5 – 10		10 – 20			
кг/м^3	л/м^3	л/м^3	кг/м^3	л/м^3	кг/м^3	л/м^3	кг/м^3	л/м^3
180	58	190	156	175	295	351	547	226

Исходный оптимальный состав корректируем с учетом замеренной влажности керамзита и известнякового песка и приготавливаем первую серию опытных замесов. При этом проводим корректировку расхода воды для получения заданной жесткости, контролируя ее по ГОСТ 10181.1–81; фиксируем фактическую дозировку материалов; проверяем плотность свежеуложенной керамзитобетонной смеси.

Полученные данные приведены в табл.3.

Таблица 3

Ц		В,	Керамзит				Известняковый песок		Плотность, кг/м^3	Отклонение от расчетной, %
			5 – 10 мм		10 – 20 мм					
кг/м^3	л/м^3	л/м^3	кг/м^3	л/м^3	кг/м^3	л/м^3	кг/м^3	л/м^3		
180	58	163	158	178	297	353	600	248	1384	1 (< 3%)

Из замеса первой серии изготавливаем 6 контрольных образцов-кубов размером 15х15х15 см, которые до тепловлажностной обработки выдерживаем на воздухе в течение 4 ч.

После тепловлажностной обработки образцов по заданному режиму и остывания их в течение 4 ч проводим испытания по ГОСТ 10180–78 и ГОСТ 12730.1–78, определяя прочность при сжатии и плотность.

Результаты испытаний заносим в табл.4.

Таблица 4

Маркировка образца	Размеры, мм	Площадь, $см^2$	Объем, $см^3$	Плотность, $кг/м^3$		Прочность после пропарки, МПа ($кгс/см^2$)
				после пропарки	в сухом состоянии	
К-1-1	150х150х150	225	3375	1370	1254	4,8 (48)
К-1-2	151х153х148	228	3419	1354	1248	4,2 (42)
К-1-3	150х151х153	226	3465	1372	1260	4,1 (41)
К-1-4	150х153х148	231	3396	1368	1252	4,0 (40)
К-1-5	152х150х149	228	3397	1369	1250	4,4 (44)
К-1-6	153х151х148	228	3419	1372	1258	4,6 (46)
			Средняя	1367	1254	4,3 (43)

Назначенный исходный оптимальный состав удовлетворяет требованиям соответствия по заданной плотности при проектной марке, обеспечивая при этом принятую подвижность смеси. Принимаем его за расчетный состав.

Для назначения рабочего состава на базе полученного расчетного приготавливаем вторую серию опытных замесов (3 замеса).

Из каждого замеса изготавливаем по 6 контрольных образцов-кубов размером 15х15х15 см, которые обрабатываем и испытываем аналогично образцам первой серии.

Результаты испытаний заносим в табл.5, в которой проводим вычисления показателей изменчивости прочности ($R_n = R_i$) и плотности (ρ_i) керамзитобетона в соответствии с формулами,приведенными в (п.5.16).

Таблица 5

№ партии	Маркировка образца	Прочность образца R_i, МПа ($кгс/см^2$)	Плотность в сухом состоянии ρ_i, $кг/м^3$	$R_i - R_{ср}$	$(R_i - R_{ср})^2$	$\rho_i - \rho_{ср}$	$(\rho_i - \rho_{ср})^2$	$(R_i - R_{ср}) \times (\rho_i - \rho_{ср})$
1	КП-1	4,2 (42)	1228	0,1	0,01	10	100	1,0
	КП-2	3,8 (38)	1254	0,3	0,09	16	256	4,8
	КП-3	4,4 (44)	1232	0,1	0,01	6	36	0,6
	КП-4	5,2 (52)	1228	0,9	0,81	10	100	9,0
	КП-5	4,0 (40)	1248	0,7	0,49	10	100	7,0
	КП-6	3,9 (39)	1239	0,6	0,36	1	1	0,6
2	КП-7	4,1 (41)	1240	0,2	0,04	2	4	0,6
	КП-8	4,3 (43)	1229	0	0	8	64	0
	КП-9	3,9 (39)	1237	0,4	0,16	1	1	0,4
	КП-10	4,7 (47)	1236	0,4	0,16	2	4	0,8
	КП-11	4,0 (40)	1224	0,3	0,09	14	196	4,2
	КП-12	4,1 (41)	1249	0,2	0,04	11	121	2,2

Продолжение табл. 5

№ партии	Маркировка образца	Прочность образца R_i, МПа (кгс/см^2)	Плотность в сухом состоянии ρ_i, кг/м^3	$R_i - R_{ср}$	$(R_i - R_{ср})^2$	$\rho_i - \rho_{ср}$	$(\rho_i - \rho_{ср})^2$	$(R_i - R_{ср}) \times (\rho_i - \rho_{ср})$
	КП-13	3,8 (38)	1251	0,5	0,25	13	169	6,5
	КП-14	4,4 (44)	1242	0,1	0,01	4	16	0,4
3	КП-15	4,1 (41)	1248	0,2	0,04	10	100	2,0
	КП-16	4,8 (48)	1224	0,5	0,25	14	196	7,0
	КП-17	4,5 (45)	1229	0,2	0,04	9	81	1,8
	КП-18	4,2 (42)	1240	0,1	0,01	2	4	0,2
	18	76,4 (764)	22278	–	2,86	–	1549	48,9

Примечание. $R_{ср} = 4{,}3$ МПа; (43 кгс/см^2); $\rho_{ср} = 1238$ кг/м^3; $S_R = 0{,}41$; $S_\rho = 9{,}5$; $V_R = 0{,}09 < 0{,}135$; $V_\rho = 0{,}008 < 0{,}05$; $\hat{\beta} = 0{,}73 > 0{,}5$; $m_{\hat{\beta}} = 0{,}11$; $\hat{\beta}/m_{\hat{\beta}} = 6{,}6 > 3$.

Значения показателей изменчивости прочности и плотности находятся в регламентируемых пределах. Следовательно, расчетный состав керамзитобетона принимаем в качестве рабочего по табл.2.

Пример 2. Требуется запроектировать состав керамзитобетона на известняковом песке марки М200 с плотностью не более 1600 кг/м^3 для изготовления панелей перекрытия в вертикальных кассетных формах. Предусмотрено применение добавки СНВ.

Характеристики исходных материалов и принятый режим тепловлажностной обработки приведены в примере 1.

Проектирование состава керамзитобетона

В соответствии с разд.5 настоящих Рекомендаций требуемый состав должен обеспечить получение конструкционного керамзитобетона заданной марки М200 при минимальном расходе цемента и плотностью не более 1600 кг/м^3.

Подбор состава проводим по методике планированного эксперимента согласно пп.5.19–5.33 настоящих Рекомендаций.

Исходный состав керамзитобетонной смеси назначаем в соответствии с п.5.12. Расход компонентов керамзитобетона приведен в табл.6.

Варьируемыми факторами принимаем:

x_1 – расход цемента Ц, кг/м^3; x_2 – расход воды В, л/м^3; x_3 – значение агрегатно-структурного фактора М/(М+К).

Количество добавки СНВ подбираем в соответствии с указаниями п.5.21.

Таблица 6

Ц		В, л/м^3	М/(М+К)	Керамзит				Известняковый песок	
				5–10 мм		10–20 мм			
кг/м^3	л/м^3			кг/м^3	л/м^3	кг/м^3	л/м^3	кг/м^3	л/м^3
400	130	250	0,5	137	155	132	155	750	310

Примечание. Расход керамзита взят при соотношении между фракциями $V_{10-20}/V_{5-10} = 1$

В соответствии с пп.5.21, 5.22 назначаем интервалы варьирования факторов, а затем по формуле (7) переводим их в кодированные единицы. Численные значения уровней варьирования приведены в табл.7.

Таблица 7

Уровень и его кодированное значение	Обозначение	Факторы		
		X_1=Ц,кг/м^3	X_2=В, кг/м^3	X_3=М/(М+К)
Нижний (−1)	$x_{мин}$	250	230	0,3
Нулевой (0)	x_0	400	250	0,5
Верхний (+1)	$x_{макс}$	550	270	0,7
Интервал варьирования	Δx	±150	±20	±0,2

Эксперимент проводим по близкому к D -оптимальному плану для трех факторов, варьируемых на трех уровнях (см. п.5.24, табл.8).

Контролируемыми параметрами (выходами) принимаем:

а) прочность керамзитобетона в возрасте 28 сут R_{28}, МПа (кгс/см^2);

б) плотность керамзитобетона в сухом состоянии ρ, кг/м^3.

Для ускорения процесса подбора состава контролируемым выходом можно принять прочность после пропарки $R_{пп}$.

Удобоукладываемость определяем согласно ГОСТ 10181.1–81. Рабочая матрица для подбора состава приведена в табл.8. Состав для каждой строчки принятой матрицы планирования рассчитываем по формулам (3) – (5).

Для получения значений контролируемых параметров по расчетным составам для каждой строчки матрицы изготавливаем по 3 образца-куба размером 15х15х15 см, которые испытываем. Результаты испытания соответствующим образом обрабатываем (см. пример 1).

Для получения математических моделей каждого контролируемого параметра (выхода) составляем расчетную матрицу.

В примере приведена расчетная матрица (табл.9) и соответствующие расчеты для получения уравнения прочности в 28-дневном возрасте.

Из расчетной матрицы выписываем суммы граф 2–10:

$$(0y)=\sum_{i=1}^{N} y = 318{,}9; \quad (1y) = \sum_{i=1}^{N} x_1 y = 55{,}1;$$

$$(2y)=\sum_{i=1}^{N} x_2 y = -8{,}0; \quad (3y)=\sum_{i=1}^{N} x_3 y = 14{,}9;$$

$$(11y)=\sum_{i=1}^{N} x_1^2 y = 182{,}3; \quad (22y)=\sum_{i=1}^{N} x_2^2 y = 183{,}0;$$

$$(33y)=\sum_{i=1}^{N} x_3^2 y = 180{,}9; \quad (12y)=\sum_{i=1}^{N} x_1 x_2 y = 3{,}2;$$

$$(13y)=\sum_{i=1}^{N} x_1 x_3 y = -0{,}6; \quad (23y)=\sum_{i=1}^{N} x_2 x_3 y = 5{,}6;$$

По формулам (18) – (21) определяем коэффициенты при членах регрессии:

$$b_0 = 13/71 \cdot 318{,}9 - 5/71\,(182{,}3 + 183{,}0 + 180{,}9) = 19{,}9;$$

$$b_1 = 0{,}1 \cdot 55{,}1 = 5{,}5; \quad b_2 = 0{,}1 \cdot (-80) = -0{,}8;$$

$$b_3 = 0{,}1 \cdot 14{,}9 = 1{,}5;$$

$$b_{11} = 0{,}5 \cdot 182{,}3 - 5/71 \cdot 318{,}9 - 9/71\,(182{,}3 + 183{,}0 + 180{,}9) = -0{,}5;$$

$$b_{22} = 0{,}5 \cdot 183{,}0 - 5/71 \cdot 318{,}9 - 9/71\,(182{,}3 + 183{,}0 + 180{,}9) = -0{,}1;$$

$$b_{33} = 0{,}5 \cdot 180{,}9 - 5/71 \cdot 318{,}9 - 9/71\,(182{,}3 + 193{,}0 + 180{,}9) = -1{,}1;$$

$$b_{12} = 0{,}125 \cdot 3{,}2 = 0{,}4; \quad b_{13} = 0\,125\,(-0{,}6) = -0{,}1;$$

$$b_{23} = 0{,}125 \cdot 5{,}6 = 0{,}7.$$

Таблица 8

	Планирование			Расход материалов на 1 м³ бетона					Проектная плотность свежеуложенного керамзитобетона кг/м³ $\rho_{0пр}$,	Фактическая плотность свежеуложенного керамзитобетона $\rho_{0ф}$, кг/м³	Удобоукладываемость W, с	Плотность сухого керамзитобетона ρ_0, кг/м³	Прочность в возрасте 28 сут R_{28}, МПа (кгс/см²)
	Ц (x_1)	В (x_2)	М/(М+К) (x_3)	цемент, кг	вода, л (кг)	известняковый песок, кг	керамзит 5–10 кг	керамзит 10–20 кг					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	+	+	+	550	270	933	49	94	1896	1910	24	1690	25,7 (257)
2	+	+	–	550	270	399	114	218	1151	1550	6	1380	20,3 (203)
3	+	–	+	550	230	1002	52	100	1934	1880	155	1670	22,9 (229)
4	–	+	+	250	270	1098	58	110	1786	1810	16	1580	12,5 (125)
5	–	–	–	250	230	500	142	273	1395	1405	6	1200	12,2 (122)
6	–	–	+	250	230	1165	61	117	1828	1834	91	1600	15,1 (151)
7	–	+	–	250	270	472	134	258	1394	1410	3	1190	10,6 (106)
8	+	–	–	550	230	428	122	235	1594	1600	25	1420	24,1 (241)
9	+	0	0	550	250	691	84	162	1739	1751	37	1580	25,7 (257)
10	–	0	0	250	250	809	99	189	1597	1594	21	1400	13,3 (133)
11	0	+	0	400	270	725	88	170	1655	1670	8	1470	18,4 (184)
12	0	–	0	400	230	774	96	183	1681	1698	38	1570	21,2 (212)
13	0	0	+	400	250	1050	55	105	1861	1840	61	1660	21,7 (217)
14	0	0	–	400	250	450	127	247	1477	1472	8	1270	15,8 (158)
15	0	0	0	400	250	750	92	175	1669	1683	24	1470	20,9 (209)
16	0	0	0	400	250	750	92	175	1669	1685	22	1490	20,5 (205)
17	0	0	0	400	250	750	92	175	1669	1690	21	1480	19,7 (197)

Таблица 9

№ опыта	Линейные эффекты			Квадратичные эффекты			Эффекты взаимодействия			$y(R_{28})$	$\hat{y}(R_{28})$	$\hat{y}-y$	$(\hat{y}-y)^2$
	x_1y	x_2y	x_3y	x_1^2y	x_2^2y	x_3^2y	x_1x_2y	x_1x_3y	x_2x_3y				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	25,7	25,7	25,7	25,7	25,7	25,7	25,7	25,7	25,7	25,7	25,4	−0,3	0,09
2	20,3	20,3	−20,3	20,3	20,3	20,3	20,3	−20,3	−20,3	20,3	21,2	0,9	0,81
3	22,9	−22,9	22,9	22,9	22,9	22,9	−22,9	22,9	−22,9	22,9	24,8	1,9	3,61
4	−12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	−12,5	−12,5	12,5	12,5	13,8	1,3	1,69
5	−12,2	−12,2	−12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	13,0	0,8	0,64
6	−15,1	−15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	−15,1	−15,1	15,1	14,8	−0,3	0,09
7	−10,6	10,6	−10,6	10,6	10,6	10,6	−10,6	10,6	−10,6	10,6	9,2	−1,4	1,96
8	24,1	−24,1	−24,1	24,1	24,1	24,1	−24,1	−24,1	24,1	24,1	23,4	−0,7	0,49
9	25,7	0	0	25,7	0	0	0	0	0	25,7	24,9	−0,8	0,64
10	−13,2	0	0	13,2	0	0	0	0	0	13,2	13,9	0,7	0,49
11	0	18,4	0	0	18,4	0	0	0	0	18,4	19,0	0,6	0,36
12	0	−21,2	0	0	21,2	0	0	0	0	21,2	20,6	−0,6	0,36
13	0	0	21,7	0	0	21,7	0	0	0	21,7	20,3	−1,4	1,96
14	0	0	−15,8	0	0	15,8	0	0	0	15,8	17,3	1,5	2,25
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20,9	19,9	−1,0	1,00
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20,5	19,9	−0,6	0,36
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19,5	19,9	−0,4	0,16
	$\sum_{i=1}^{N} x_1y = 55,1$	$\sum_{i=1}^{N} x_2y = -8,0$	$\sum_{i=1}^{N} x_3y = 14,9$	$\sum_{i=1}^{N} x_1^2y = 182,3$	$\sum_{i=1}^{N} x_2^2y = 183,0$	$\sum_{i=1}^{N} x_3^2y = 180,9$	$\sum_{i=1}^{N} x_1x_2y = 3,2$	$\sum_{i=1}^{N} x_1x_3y = -0,6$	$\sum_{i=1}^{N} x_2x_3y = 5,6$	$\sum_{i=1}^{N} y = 318,9$			$S_R = \Sigma = 16,96$

Записываем уравнение регрессии

$$y(R_{28}) = 19{,}9 + 5{,}5x_1 - 0{,}8x_2 + 1{,}5x_3 + 0{,}4x_1x_2 - 0{,}1x_1x_3 + 0{,}7x_2x_3 - 0{,}5x_1^2 - 0{,}1x_2^2 - 1{,}1x_3^2.$$

Вычисляем расчетные выходы

$\hat{y}_1 = 19{,}9+5{,}5-0{,}8+1{,}5+0{,}4-0{,}1+0{,}7-0{,}5-0{,}1-1{,}1 = 25{,}4$ МПа (254 кгс/см^2);

$\hat{y}_2 = 19{,}9+5{,}5-0{,}8-1{,}5+0{,}4+0{,}1-0{,}7-0{,}5-0{,}1-1{,}1 = 21{,}2$ МПа (212 кгс/см^2);

$\hat{y}_3 = 19{,}9+5{,}5+0{,}8+1{,}5-0{,}4-0{,}1-0{,}7-0{,}5-0{,}1-1{,}1 = 24{,}8$ МПа (248 кгс/см^2);

$\hat{y}_4 = 19{,}9-5{,}5-0{,}8+1{,}5-0{,}4+0{,}1+0{,}7-0{,}5-0{,}1-1{,}1 = 13{,}8$ МПа (138 кгс/см^2);

$\hat{y}_5 = 19{,}9-5{,}5+0{,}8-1{,}5+0{,}4-0{,}1+0{,}7-0{,}5-0{,}1-1{,}1 = 13{,}0$ МПа (130 кгс/см^2);

$\hat{y}_6 = 19{,}9-5{,}5+0{,}8+1{,}5+0{,}4+0{,}1-0{,}7-0{,}5-0{,}1-1{,}1 = 14{,}8$ МПа (148 кгс/см^2);

$\hat{y}_7 = 19{,}9-5{,}5-0{,}8-1{,}5-0{,}4-0{,}1-0{,}7-0{,}5-0{,}1-1{,}1 = 9{,}2$ МПа (92 кгс/см^2);

$\hat{y}_8 = 19{,}9+5{,}5+0{,}8-1{,}5-0{,}4+0{,}1+0{,}7-0{,}5-0{,}1-1{,}1 = 23{,}4$ МПа (234 кгс/см^2);

$\hat{y}_9 = 19{,}9+5{,}5-0{,}5 = 24{,}9$ МПа (249 кгс/см^2);

$\hat{y}_{10} = 19{,}9-5{,}5-0{,}5 = 13{,}9$ МПа (139 кгс/см^2);

$\hat{y}_{11} = 19{,}9-0{,}8-0{,}1 = 19{,}0$ МПа (190 кгс/см^2);

$\hat{y}_{12} = 19{,}9+0{,}8-0{,}1 = 20{,}6$ МПа (206 кгс/см^2);

$\hat{y}_{13} = 19{,}9+1{,}5-1{,}1 = 20{,}3$ МПа (203 кгс/см^2);

$\hat{y}_{14} = 19{,}9-1{,}5-1{,}1 = 17{,}3$ МПа (173 кгс/см^2);

$\hat{y}_{15} - \hat{y}_{16} = \hat{y}_{17} = 19{,}9$ МПа (199 кгс/см^2).

Полученные значения вносим в табл.9 и определяем отклонения расчетных значений выходов от опытных в каждой строчке матрицы.

По формуле (23) определяем среднее значение R_{28} в центре плана (опыты № 15–17).

$$y_0(R_{28}) = (20{,}9+20{,}5+19{,}5)/3 = 20{,}3 \text{ МПа (203 кгс/см}^2).$$

По формуле (22) определяем дисперсию опыта

$$S_y^2 = [(20{,}9-20{,}3)^2 + (20{,}5-20{,}3)^2 + (19{,}5-20{,}3)^2]/2 = 0{,}52.$$

Определяем число степеней свободы и дисперсию адекватности по формуле (25)

$$f_{ad} = 17 - (3+2)(3+1)/2 - (3-1) = 9;$$

$$S_{ad} = (16{,}96-1{,}04)/9 = 1{,}77.$$

Вычисляем расчетный F-критерий Фишера по формуле

$$F_p = 1{,}77/0{,}52 = 3{,}4.$$

Вычисленный расчетный критерий меньше табличного $F_T = 8{,}84$ (прил.9). Следовательно, полученным уравнением можно пользоваться для описания прочности керамзитобетона в 28-дневном возрасте.

Значимость коэффициентов оцениваем их дисперсией и доверительными интервалами, которые определяем по формулам (27) – (31).

$S^2_{b_0} = 13/17 \cdot 0{,}52 = 0{,}0952$; $S_{b_0} = 0{,}31$; $\Delta b_0 = 2 \cdot 0{,}31 = 0{,}62$;

$S^2_{b_i} = 0{,}1 \cdot 0{,}52 = 0{,}0520$; $S_{b_i} = 0{,}23$; $\Delta b_i = 2 \cdot 0{,}23 = 0{,}46$;

$S^2_{b_{ii}} = 0{,}373 \cdot 0{,}52 = 0{,}1940$; $S_{b_{ii}} = 0{,}44$; $\Delta b_{ii} = 2 \cdot 0{,}44 = 0{,}88$;

$S^2_{b_{ij}} = 0{,}125 \cdot 0{,}52 = 0{,}0650$; $S_{b_{ij}} = 0{,}25$; $\Delta b_{ij} = 2 \cdot 0{,}25 = 0{,}50$.

Отбрасывая коэффициенты, абсолютные величины которых меньше соответствующего доверительного интервала (п.5.31), и округляя, получаем упрощенное уравнение регрессии:

$$y\ (R_{28}) = 19{,}9 + 5{,}5\ x_1 - 0{,}8\ x_2 + 1{,}5\ x_3 + 0{,}7\ x_2 x_3 - 1{,}1\ x_3.$$

Проведя аналогичные расчеты, получаем уравнения регрессии плотности сухого керамзитобетона

$$y\ (\rho) = 1480 + 70\ x_1 - 20\ x_2 + 180\ x_3 - 20\ x_1 x_3 + 35\ x_2^2 - 20\ x_3^2,$$

для которого $F_p = 4{,}0 < F_T = 8{,}84$.

Полученные уравнения адекватно описывают с 95%-ной надежностью, соответственно, прочность в 28-дневном возрасте и плотность в сухом состоянии керамзитобетона на известняковом песке в зависимости от состава.

Решая систему уравнений при заданных ограничениях $R_{28} = 20$ МПа (200 кгс/см^2) и $\rho \leq 1600$ кг/м^3, получаем набор оптимальных по этим ограничениям составов керамзитобетона на известняковом песке марки М200.

Каждый из составов проверяем экспериментально путем приготовления опытных замесов и изготовления на их базе опытных образцов-кубов размером 15x15x15 см.

Выбираем в качестве рабочего состав, удовлетворяющий приведенным требованиям с минимальным расходом цемента.

Выбранный состав приведен в табл.10.

Таблица 10

Проектная марка	Состав керамзитобетона (кг/л), м^3						Фактические показатели	
	Ц	В	М/(М+К)	П	Керамзит		МПа (кгс/см^2)	кг/м^3
					5–10 мм	10–20 мм		
200	385 125	230	0,556	866 358	127 143	123 144	21,0(210)	1575

С целью повышения подвижности смеси до требуемого значения (прил.1) ОК = 6 см, в соответствии с указаниями п.5.21, назначаем дозировку пластифицирующей добавки СНВ равную 0,1–0,20% от массы цемента.

Указанную добавку имеем в виде 5%-ного раствора с плотностью 1,015 г/см^3. В 1 л такого раствора содержится 0,051 кг сухого вещества СНВ.

Принимая предварительно дозировку добавки 0,001 Ц, получаем количество ее в сухом виде

$$\text{СНВ} = 385 \cdot 0{,}001 = 0{,}385 \text{ кг}.$$

Для введения в керамзитобетонную смесь найденного количества добавки в виде 5%-ного раствора на 1 м^3 потребуется 7,5 л.

Учитывая, что нужная дозировка добавки неизвестна, готовим 12 л добавки указанной концентрации и на базе приведенного в табл.10 состава готовим опытный замес (количество воды в замес скорректировано с учетом предварительной дозировки добавки 0,001% Ц)

$$\text{В} = 230 - (7{,}5 \cdot 1{,}015 - 0{,}385) = 223 \text{ л}.$$

В приготовленную смесь добавляем количество добавки, соответствующее дозировке 0,001 Ц, и определяем подвижность смеси – ОК 4 см. Добавляем в эту же смесь количество добавки, соответствующее дозировке 0,0012. Определяя подвижность, получаем требуемую ОК=6 см. На базе полу-

ченного состава изготавливаем 6 образцов-кубов, которые испытываем и обрабатываем, определяя ρ_0 и R_{28}.

Результаты испытания показывают, что полученный состав удовлетворяет всем предъявляемым требованиям и может быть принят в качестве рабочего. После соответствующих пересчетов получаем состав, приведенный в табл.11.

Таблица 11

Заданная марка	Состав керамзитобетона (кг/л), м³							Фактические показатели		
	Ц	В	М/(М+К)	П	Д СНВ	керамзит		R_{28}, МПа (кгс/см²)	ρ_1, кг/м³	ОК, см
						5–10 мм	10–20 мм			
200	385 / 125	221	0,556	866 / 358	9,1	127 / 143	123 / 144	20,8 (208)	1590	6

Пример 3. Требуется запроектировать экономичный по стоимости состав керамзитобетона на известняковом песке марки М150 с плотностью не более 1500 кг/м³ для изготовления панелей внутренних несущих межквартирных стен в вертикальных кассетных формах.

Предусмотрено применение добавки СНВ.

Характеристики исходных материалов приведены в табл.12.

Таблица 12

Материал	Насыпная объемная плотность, кг/м³	Плотность, кг/м³	Прочность в цилиндре, МПа (кгс/см²)	Водопоглощение через 1 сут, %	Объем межзерновых пустот, %	Модуль крупности $М_К$	Влажность, %
Керамзит фракций, мм							
5–10	501	1090*	2,6 (26)	16,2	30	–	4
10–20	462	1011*	2,2 (22)	2,08	38	–	4
Песок известняковый	1350	2590*	1,6 (16)	6,2	–	2,4	5
Цемент марки М300	–	3100	–	–	–	–	–

* Плотность, определенная в цементном тесте.

Тепловлажностная обработка по режиму 2+4+3.

Проектирование состава керамзитобетона

Требуемый состав должен обеспечить получение конструкционного керамзитобетона заданной марки М150 при минимальном расходе цемента плотностью не более 1400 кг/м³. Подвижность смеси, согласно прил.1,

должна составлять ОК = 6–12 см. Кроме того, требуемый состав должен быть наиболее экономичным по стоимости среди составов, удовлетворяющих вышеприведенным требованиям.

Подбор такого состава производим, используя методику планированного эксперимента, согласно пп.5.19–5.34.

Исходный состав керамзитобетонной смеси назначаем в соответствии с п.5.12. Расход компонентов приведен в табл.13.

Таблица 13

Ц		Вода, л/м³	М/(М+К)	Керамзит				Известняковый песок		СНВ		
				5–10 мм		10–20 мм						
кг/м³	л/м³			кг/м³	л/м³	кг/м³	л/м³	кг/м³	л/м³	% Ц	кг/м³	л/м³
350	113	253	0,4	136	125	254	251	650	251	0,1	0,35	7

Варьируемыми факторами принимаем:

x_1 – расход цемента Ц, кг/м³;

x_2 – расход добавки СНВ (% Ц), кг/м³;

x_3 – расход пылевидной фракции песка % П, кг/м³;

x_4 – значение агрегатно-структурного фактора (М/(М+К).

Численные значения уровней варьирования факторов, назначаемые по интервалам варьирования в соответствии с пп.5.21, 5.22 приведены в табл.14.

Таблица 14

Уровень и его кодированное значение	Обозначение	Факторы			
		x_1 = Ц, кг/м³	x_2 = СНВ, % Ц	x_3 = пыль, % П	М/(М+К)
Нижний (–1)	$x_{мин}$	250	0	0,15	0,2
Нулевой (0)	x_0	350	0,1	0,30	0,4
Верхний (+1)	$x_{макс}$	450	0,2	0,45	0,6
Интервал варьирования	Δx	100	0,1	0,15	0,2

Эксперимент проводим по близкому к D-оптимальному плану для четырех факторов, варьируемых на трех уровнях (п.5.24).

Контролируемыми параметрами (выходами), учитывая требование к проектируемому составу, принимаем:

1) прочность керамзитобетона в возрасте 28 сут R_{28}, МПа (кгс/см²);
2) плотность керамзитобетона в сухом состоянии ρ, кг/м³;
3) стоимость керамзитобетона С, руб/м³.

Рабочая матрица для подбора требуемого состава приведена в табл.15.

Состав керамзитобетона для каждой строчки матрицы рассчитывали следующим образом. Учитывая, что вода не вошла в число варьируемых факторов, ее количество, при расчете составов на каждой строчке, приняли согласно табл.5, исходя из требования получения керамзитобетонной смеси подвижностью ОК=6 см.

Общий расход керамзита и известнякового песка определяем по формуле (3).

Отдельно расход керамзита и известнякового песка определяем, соответственно, по формулам (4) и (5).

Соотношение между фракциями керамзита принимали постоянным и равным $V_{10-20}/V_{5-10}=2$.

Расход пылевидной фракции песка (< 0,14 мм) определяем в % от массы всего песка.

Расход добавки СНВ назначаем в соответствии с указаниями пп.5.8 и 5.21 при заданной 5%-ной концентрации ее раствора с корректировкой общего количества воды.

В процессе практической реализации рабочей матрицы на каждой ее строчке (в каждом опыте) для получения требуемой подвижности смеси, после ее окончательного изготовления по рассчитанному составу проводим (при необходимости) корректировку количества воды, добавляя ее в смесь до получения подвижности равной ОК=6 см.

По фактическому расходу воды, корректируем состав керамзитобетона в каждой строчке матрицы. Фактические расходы материалов заносим в табл.16, дополняющую рабочую матрицу, где проводим вычисления стоимостей исходных материалов и керамзитобетона на известняковом песке в каждой строчке.

Расчет коэффициентов при членах уравнений регрессии, вычисление расчетных выходов, статистический анализ уравнений и коэффициентов проводим в соответствии с пп.5.28–5.33 настоящих Рекомендаций.

В результате расчета получены следующие адекватные по критерию Фишера регрессивные модели, описывающие с 95%-ной надежностью каждый оптимизируемый параметр в зависимости от состава:

1) прочность керамзитобетона в возрасте 28 сут

$$y\,(R_{28}) = 16{,}1 + 2{,}0x_1 + 0{,}6\,x_1x_3 - 0{,}7\,x_3x_4 - 2{,}9x_1^2;$$

$$F_p = 1{,}27 < F_T = 4{,}56;$$

2) Плотность керамзитобетона в сухом состоянии

$$y\,(\rho) = 1460 + 55x_1 + 25x_2 + 12x_3 + 174x_4 + 26x_1x_2 + 18x_1x_3 + 19x_2x_3 + 31x_2x_4 - 41x_1^2 - 49x_2^2 - 55x_3^2 + 58x_4^2;$$

$$F_p = 4{,}31 < F_T = 4{,}56;$$

3) стоимость керамзитобетона

$$y\,(C) = 13{,}08 + 1{,}44x_1 - 0{,}06x_2 - 0{,}18x_3 - 1{,}54x_4 - 0{,}13x_1x_2 - 0{,}12x_1x_3 - 0{,}06x_2x_4 - 0{,}10x_3x_4 - 0{,}2x_1^2 - 0{,}23x_4^2;$$

$$F_p = 3{,}1 < F_T = 4{,}56.$$

После получения уравнений регрессии с помощью ЭВМ строим номограммы прочности (R_{28}), плотности (ρ) и стоимости (С) керамзитобетона в зависимости от x_1 (расход цемента) и x_4 [М/(М+К)] при фиксированных значения x_2 (расход добавки СНВ) = +1 (0,2% Ц) и x_3 (расход пылевидной фракции песка) = ±1 (15% П и 45% П).

Номограмма прочности керамзитобетона марки М150 (рис.1) позволяет в области эксперимента наглядно и численно оценить влияние изменения агрегатно-структурного фактора на требуемый расход цемента при зафиксированных на оптимальных уровнях расходах добавки СНВ и пылевидной фракции (<0,14 мм) известнякового песка.

Номограммы плотности (рис.2) и стоимости (рис.3) керамзитобетона на известняковом песке позволяют в области эксперимента оценить их изменение в зависимости от расхода цемента и значения агрегатно-структурного фактора при зафиксированных на оптимальных уровнях расходах добавки СНВ и пылевидной фракции (<0,14) известнякового песка.

Таблица 15

№ опыта	Планирование				Расход материалов на 1 м³ бетона							Проектная плотность свежеуложенного керамзитобетона $\rho_{опр}$, кг/м³	Фактическая плотность свежеуложенного керамзитобетона $\rho_{оф}$, кг/м³	Выходы		
	Ц (x_1)	СНВ (x_2)	П (x_3)	М/(М+К) (x_4)	Цемент, кг	Вода, кг (л)	Керамзит		Известняковый песок		Добавка СНВ, кг			Прочность в возрасте 28 сут МПа R_{28}, (кгс/см²)	Плотность сухого керамзитобетона ρ_0, кг/м³	Стоимость керамзитобетона C, руб/м³
							фракция 5–10 мм, кг	фракция 10–20 мм, кг	фракция <0,14 (пыль), кг	фракция >0,14 <5, кг						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	+	+	+	+	450	260	86	160	416	508	0,9	1881	1783	16,0 (160)	1515	11,96
2	+	+	+	–	450	260	173	321	139	169	0,9	1513	1462	16,5 (165)	1203	14,9
3	+	+	–	+	450	260	86	160	139	785	0,9	1881	1789	14,0 (140)	1512	12,51
4	+	–	+	+	450	260	86	160	416	508	0	1880	1809	12,8 (128)	1510	12,18
5	–	+	+	+	250	260	96	178	460	563	0,5	1808	1783	11,0 (110)	1472	9,36
6	–	–	–	–	250	220	203	376	54	308	0	1411	1401	10,1 (101)	1145	12,52
7	–	–	–	+	250	260	96	178	153	870	0	1807	1773	10,5 (105)	1464	9,73
8	–	–	+	–	250	240	197	366	158	194	0	1405	1439	10,4 (104)	1150	12,33
9	–	+	–	–	250	220	203	376	54	308	0,5	1412	1401	11 (110)	1145	12,56
10	+	–	–	–	450	240	179	332	48	271	0	1520	1497	14 (140)	1252	15,37
11	+	+	–	–	450	220	185	342	49	280	0,9	1527	1500	12,5 (125)	1272	15,66
12	–	–	+	+	250	260	96	178	460	563	0	1807	1805	8,6 (86)	1538	9,61
13	+	–	+	–	450	240	179	332	143	176	0	1520	1687	17,1 (171)	1483	15,93
14	–	+	–	+	250	240	99	184	158	897	0,5	1828	1775	12,2 (122)	1516	9,85
15	–	+	+	–	250	220	203	376	163	199	0,5	1412	1427	10,2 (102)	1209	13,02
16	+	–	–	+	450	260	86	160	139	785	0	1880	1845	16,5 (165)	1603	13,12
17	+	0	0	0	450	260	130	241	185	431	0,45	1697	1671	13,1 (131)	1484	14,62
18	–	0	0	0	250	240	148	275	211	492	0,25	1616	1605	12,5 (125)	1358	11,31
19	0	+	0	0	350	240	141	261	201	469	0,7	1663	1644	12,8 (128)	1416	12,95
20	0	–	0	0	350	260	137	253	195	455	0	1650	1663	16,1 (161)	1438	13,15
21	0	0	+	0	350	260	137	253	292	358	0,35	1650	1667	15,9 (159)	1433	12,95
22	0	0	–	0	350	240	141	261	100	570	0,35	1663	1661	18,1 (181)	1463	13,49
23	0	0	0	+	350	260	93	172	297	693	0,35	1865	1808	11,5 (115)	1541	11,25
24	0	0	0	–	350	220	194	360	104	252	0,35	1480	1475	18,7 (187)	1259	14,63
25	0	0	0	0	350	260	137	253	195	455	0,35	1650	1663	16,8 (168)	1432	13,06
26	0	0	0	0	350	260	137	253	195	455	0,35	1650	1661	15,2 (152)	1425	13,05
27	0	0	0	0	350	260	137	253	195	455	0,35	1650	1660	17,0 (170)	1422	13,02
28	0	0	0	0	350	260	137	253	195	455	0,35	1650	1655	18,5 (185)	1418	12,93
29	0	0	0	0	350	260	137	253	195	455	0,35	1650	1655	15,4 (154)	1427	12,84
30	0	0	0	0	350	260	137	253	195	455	0,35	1650	1655	16,6 (166)	1415	12,94

Таблица 16

№ опыта	Цемент		Вода		Керамзит			Известняковый песок			Добавка СНВ			Стоимость 1 м³ керамзитобетона, руб.
	кг	руб.	кг	руб.	фракция 5–10 мм, кг	фракция 10–20 мм, кг	руб.	фракция <0,14 мм, кг	фракция >0,14<5 мм, кг	руб.	кг	л	руб.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	397	8,34	350	0,08	71	132	2,6	398	419	0,92	0,8	16	0,02	11,96
2	413	8,67	323	0,07	149	275	5,43	139	145	0,32	0,82	16,5	0,02	14,9
3	417	8,76	322	0,07	75	139	2,74	139	680	0,92	0,83	16,7	0,02	12,51
4	405	8,51	368	0,08	73	135	2,66	406	422	0,93	–	–	–	12,18
5	248	5,21	349	0,08	82	152	3	459	482	1,05	0,5	10	0,02	9,36
6	268	5,63	304	0,07	177	328	6,46	56	268	0,36	–	–	–	12,52
7	260	5,46	324	0,07	86	159	3,14	161	784	1,06	–	–	–	9,73
8	263	5,52	345	0,08	174	323	6,36	166	168	0,37	–	–	–	12,33
9	286	5,63	292	0,07	177	329	6,48	56	268	0,36	0,53	10,7	0,02	12,56
10	439	9,22	319	0,07	158	292	5,76	50	239	0,32	–	–	–	15,37

Продолжение табл. 16

№ опыта	Цемент		Вода		Керамзит			Известняковый песок			Добавка СНВ			Стоимость 1 м³ керамзитобетона, руб.
	кг	руб.	кг	руб.	фракция 5–10 мм, кг	фракция 10–20 мм, кг	руб.	фракция < 0,14 мм, кг	фракция >0,14<5 мм, кг	руб.	кг	л	руб.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
11	446	9,37	284	0,07	161	297	5,86	51	243	0,33	0,88	18	0,03	15,66
12	256	5,38	335	0,08	83	156	3,06	477	498	1,09	–	–	–	9,61
13	454	9,53	289	0,07	164	303	5,98	153	160	0,35	–	–	–	15,93
14	263	5,52	297	0,07	87	161	3,17	163	793	1,07	0,53	10,5	0,02	9,85
15	278	5,84	261	0,06	183	341	6,71	175	178	0,39	0,54	11	0,02	13,02
16	438	9,2	319	0,07	79	146	2,88	147	716	0,97	–	–	–	13,12
17	450	9,45	260	0,06	121	224	4,42	200	407	0,68	0,45	9	0,01	14,62
18	268	5,63	290	0,07	133	247	4,86	220	442	0,74	0,26	5	0,01	11,31
19	357	7,5	278	0,06	127	236	4,65	204	428	0,71	0,71	14	0,02	12,95
20	364	7,64	291	0,07	129	240	4,72	204	435	0,72	–	–	–	13,15
21	357	7,50	294	0,07	127	236	4,65	313	333	0,72	0,35	7	0,01	12,95
22	374	7,85	255	0,06	132	247	4,85	109	537	0,72	0,37	7,7	0,01	13,49
23	342	7,18	322	0,07	82	150	2,97	300	607	1,02	0,35	7	0,01	11,25
24	371	7,79	270	0,06	176	324	6,4	108	219	0,37	0,36	7,4	0,01	14,63
25	362	7,56	288	0,07	128	239	4,7	206	433	0,72	0,36	7,2	0,01	13,06
26	361	7,58	289	0,07	128	238	4,68	206	432	0,71	0,36	7,2	0,01	13,05
27	360	7,56	291	0,07	128	238	4,68	205	431	0,7	0,36	7,2	0,01	13,02
28	357	7,5	296	0,07	127	236	4,65	204	428	0,71	0,36	7,1	0,01	12,94
29	357	7,5	296	0,07	127	236	4,65	204	428	0,7	0,36	7,1	0,01	12,94
30	357	7,5	296	0,07	127	236	4,65	204	428	0,7	0,36	7,1	0,01	12,94

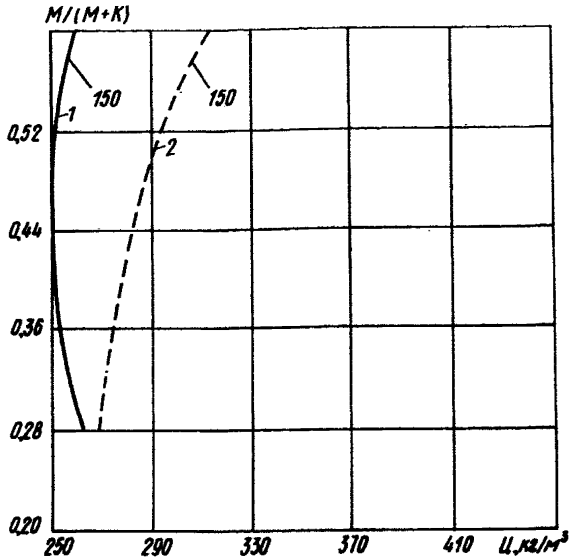

Рис 1. Номограмма прочности (R_{28} = 15 МПа) керамзитобетона на известняковом песке в зависимости от расхода цемента и значений агрегатно-структурного фактора
1 – **содержание пылевидной фракции в известняковом песке 15%;** *2* – **то же, 45%**

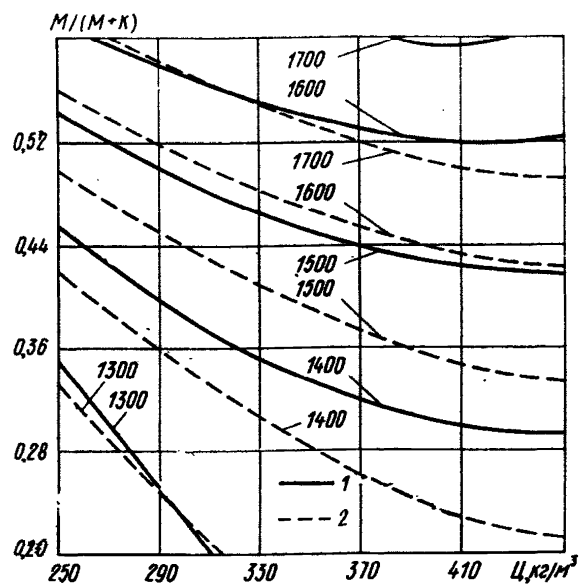

Рис.2. Номограмма объемной плотности в сухом состоянии (ρ, кг/м^3) керамзитобетона на известняковом песке в зависимости от расхода цемента и значений агрегатно-структурного фактора
1 – **содержание пылевидной фракции в известняковом песке 15%;** *2* – **то же, 45%**

Для назначения требуемого состава керамзитобетона проводим совместный анализ приведенных номограмм путем наложения их друг на друга. На рис.4 показаны штриховкой оптимальная область по прочности, плотности и стоимости керамзитобетона марки М150.

Проектному составу марки М150 с плотностью ρ=1450 кг/м^3 и минимальной стоимостью С = 11 руб/м^3 по номограмме (рис.4) соответствует: расход цемента Ц = 260 кг/м^3 и агрегатно-структурный фактор М/(М+К)= =0,48 при СНВ=0,2% и содержании пылевидной фракции известнякового песка 15% П.

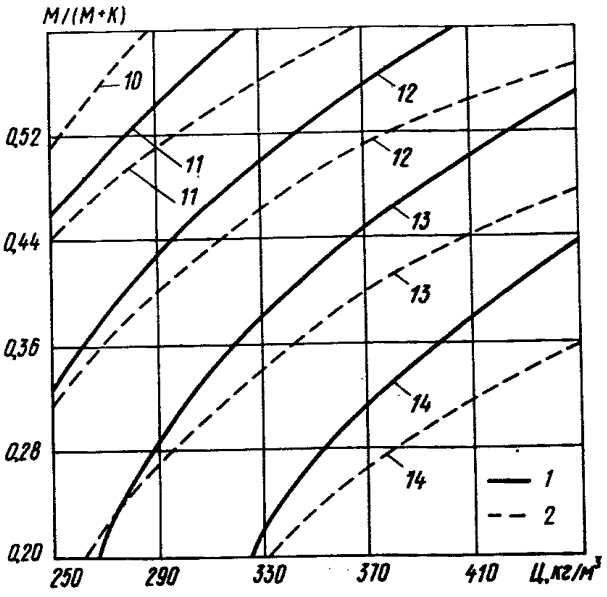

Рис. 3. Номограмма стоимости (С, руб/м³) керамзитобетона на известняковом песке в зависимости от расхода цемента и значений агрегатно-структурного фактора
1 **– содержание пылевидной фракции в известняковом песке 15%;** *2* **– то же, 45%**

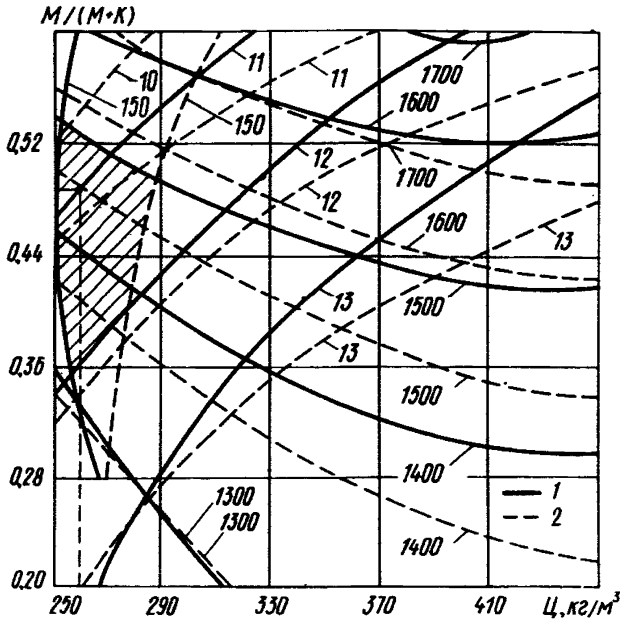

Рис. 4. Номограмма для назначения оптимального состава керамзитобетона на известняковом песке марки М150
1 **– содержание пылевидной фракции в известняковом песке 15%;** *2* **– то же, 45%**

На основании полученных данных проводим назначение состава следующим образом:

а) по табл.5 назначаем количество воды В = 250 л при расходе цемента 260 кг/м³ и структурном факторе М/(М+К) = 0,48 из расчета получения смеси с ОК=6 см;

б) общий расход известнякового песка и керамзита по формуле (3)

$$М+К=100 - 260/3,1 - 250=666 \text{ л/м}^3;$$

в) общий расход песка по формуле (4)

$$М=0{,}48 \cdot 666 = 320 \text{ л/м}^3;$$

в единицах массы

$$М=320 \cdot 2{,}59 = 829 \text{ кг/м}^3.$$

Расход песка по фракциям

$$П_{<0{,}14}=0{,}15 \cdot 829 = 124 \text{ кг/м}^3;$$

$$П_{>0{,}14}=829 - 124 = 705 \text{ кг/м}^3;$$

г) общий расход керамзита по формуле (5)

$$К=666 - 320 = 346 \text{ л/м}^3;$$

по фракциям, исходя из соотношения $V_{10-20}/V_{5-10}=2$.

$$V_{5-10} = 346/3 = 115 \text{ л/м}^3;$$

$V_{10-20}=346 \cdot 2/3 = 231$ л/м^3;
в единицах массы

$$V_{5-10} = 115 \cdot 1{,}09 = 125 \text{ кг/м}^3;$$

$$V_{10-20} = 231 \cdot 1{,}01 = 233 \text{ кг/м}^3;$$

д) расход добавки СНВ

$$СНВ=260 \cdot 0{,}002 = 0{,}52 \text{ кг}.$$

Для введения этого количества добавки в керамзитобетонную смесь в виде 5%-ного раствора на 1 м^3 ее потребуется 10 л.

Определяем количество воды с учетом раствора добавки

$$260 - (10 \cdot 1{,}015 - 0{,}52) = 250 \text{ л}.$$

Количество воды может быть скорректировано по фактической подвижности смеси.

Полученный исходный оптимальный состав приведен в табл.17.

Таблица 17

Требуемые характеристики керамзитобетона			Состав керамзитобетона на 1 м^3						
Заданная марка	Проектная плотность, кг/м^3	Стоимость руб/м	Ц кг/л	В л	СНВ л	М/(М+К)	Песок, кг/л		Керамзит, кг/л	
							фракции <0,14	фракции >0,14 <5	фракции 5—10	фракции 10—20
150	1450	11	260 84	250	10	0,48	124 48	705 272	125 115	233 231

Для назначения рабочего состава керамзитобетона на известняковом песке проводим экспериментальную проверку полученного исходного оптимального состава, как показано в примере 2.

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ ПО ПРОЧНОСТИ И ПЛОТНОСТИ ПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ (КЕРАМЗИТА И ИЗВЕСТНЯКОВОГО ПЕСКА) И БЕТОНОВ НА ИХ ОСНОВЕ

Расчет статистических характеристик

Статистическая обработка данных включает определение среднеарифметических величин $\bar{x}$ ($\bar{R}$, $\bar{\rho}$) и разброса отдельных результатов, который может оцениваться размахом; дисперсией (S_x^2), среднеквадратическим отклонением (S_x), называемым также "стандартом", коэффициентом вариации (V). При необходимости устанавливают взаимосвязь (корреляцию) между прочностью и плотностью.

Перечисленные характеристики используют производственными лабораториями при ведении статистического контроля прочности, плотности и однородности заполнителей и бетона по ГОСТ 18105.0–80 и ГОСТ 18105.1–80.

Изменчивость указанных характеристик следует определять ежеквартально по результатам не менее 100 серий контрольных испытаний.

Среднеарифметические значения прочности и плотности, взятые по средним значениям соответствующих показателей в каждой серии, принимают за единичные результаты и определяют по формулам (6) и (7).

Среднеквадратическое отклонение для каждого из контролируемых показателей определяют по формулам (8) и (9), а коэффициент вариации – по формулам (10) и (11).

Взаимосвязь между прочностью и плотностью можно принять линейной вида:

$$\bar{R} = b_0 + b_1 \bar{\rho}; \qquad (1)$$

коэффициенты b_0 и b_1 рассчитывают по формулам (2) – (4) прил.7

$$b_1 = C/(N-1)S_\rho^2; \qquad (2)$$

$$b_0 = \bar{R} - b_1 \bar{\rho}; \qquad (3)$$

$$C = \sum_{i=1}^{N} (R_i - \bar{R})(\rho_i - \bar{\rho}). \qquad (4)$$

Точность уравнения (1) прил.7 проверяют по формуле (26), в которой

$$S_{LF} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} (R_i - \hat{R}_i)^2}{N-2}}, \qquad (5)$$

где R_i, $\hat{R}_i$ – соответственно фактическая и рассчитанная по уравнению (1) средняя прочность i-той серии образцов.

Уравнение (1) прил. 7 можно использовать для описания взаимосвязи только при соблюдении неравенства (26).

Пример 1. При испытании керамзита получены данные прочности и плотности, приведенные в табл.1. Требуется оценить однородность керамзита.

Таблица 1

i	R_i, МПа (кгс/см^2)	ρ_i, кг/м^3	i	R_i, МПа (кгс/см^2)	ρ_i, кг/м^3	i	R_i МПа (кгс/см^2)	ρ_i кг/м^3
1	2,1 (21)	486	5	2,3 (23)	492	194	2,7 (27)	546
2	3,1 (31)	516	...	.....	...	195	2,7 (27)	490
3	3 (30)	508	...	....	...	196	2,9 (29)	480
4	2,8 (28)	524	...	...	...	197	2,3 (23)	460

Примечание. В таблице приведены выборочные данные.

По формуле (6)

$$\bar{R} = (2{,}1+3{,}1+3{,}0+...+2{,}7+2{,}7+2{,}9+2{,}3)/197 = 2{,}7 \text{ МПа } (27 \text{ кгс/см}^2).$$

По формуле (7)

$$\bar{\rho} = (486+516+508+...+546+490+480+460)/197 = 509 \text{ кг/м}^3.$$

По формулам (8) и (9)

$$S_R^2 = [(2{,}1-2{,}7)^2 + (3{,}1-2{,}7)^2 + ... + (2{,}3-2{,}7)^2]/196 = 0{,}16 \text{ МПа}^2 \ (16 \text{ кгс/см}^2)^2;$$

$$S_R = \sqrt{0.16} = 0{,}4 \text{ МПа } (4 \text{ кгс/см}^2);$$

$$S_\rho^2 = [(486-509)^2 + (516-509)^2 + ... + (460-509)^2]/196 = 446 \ (\text{кг/м}^3)^2;$$

$$S_\rho = \sqrt{446} = 25{,}4 \text{ кг/м}^3$$

Коэффициенты вариации вычисляются по формулам (10) и (11)

$$V_R = S_R / R = 0{,}4/2{,}7 \ 100\% = 14{,}8 < 15\%;$$

$$V_\rho = S_\rho / \rho = (25{,}4/509)100\% = 4.99\% < 5\%.$$

Коэффициенты вариации по прочности и плотности для рассматриваемого завода находятся в допускаемых пределах.

Пример 2. При испытании контрольных кубов из керамзитобетона на известняковом песке марки М150 и плотности 1650 кг/м^3 были получены данные, указанные в табл.2.

Необходимо выполнить статистическую обработку с целью определения показателей изменчивости прочности, плотности и их взаимосвязи.

По формуле (6)

$$\bar{R} = (14{,}7 + 15{,}3 + 15{,}4 + ... + 14{,}0 + 15{,}5 + 14{,}0)/120 = 15{,}7 \text{МПа } (157 \text{ кгс/см}^2);$$

по формуле (7)

$$\bar{\rho} = (1680+1635+1640+...+1590+1640+1640)/120 \approx 1638 \text{ кг/м}^3;$$

Таблица 2

i	R_i, МПа (кгс/см^2)	ρ_i, кг/м^3	i	R_i, МПа (кгс/см^2)	ρ_i, кг/м^3	i	R_i, МПа (кгс/см^2)	ρ_i кг/м^3
1	14,7 (147)	1680	4	15,2 (152)	1650	118	14,9 (149)	1590
2	15,3 (153)	1635	...	.....	...	119	15,5 (155)	1640
3	15,4 (154)	1640	...	...	...	120	14,0 (140)	1640

Примечание. В таблице приведены выборочные данные.

По формулам (8) и (9)

$$S_R^2=[(14,7-15,7)^2+(15,3-15,7)^2+...+(15,5-15,7)^2+(14,0-15,7)^2]/119=$$
$$=2,07\ \text{МПа}^2\ [207\ (\text{кгс/см}^2)^2];$$

$$S_R=\sqrt{2,07}=1,4\ \text{МПа}\ (14\ \text{кгс/см}^2);$$

$$S_\rho^2=[(1680-1638)^2+(1635-1638)^2+...+(1640-1638)^2]/119=$$
$$=3249\ (\text{кг/м}^3)^2;$$

$$S_\rho=\sqrt{3249}=57\ \text{кг/м}^3;$$

по формулам (10) и (11)

$$V_R=(1,4/15,7)\,100\%=9,17\%<13,5\%;$$
$$V_\rho=(57/1638)100\%=3,48\%<5\%.$$

Коэффициенты вариации по прочности и плотности находятся в допускаемых пределах.

Взаимосвязь между прочностью и плотностью керамзитобетона принимаем по уравнению (1) прил.7

Для вычисления b_1 определяем по формуле (4) прил.7

$$C=(14,7-15,7)(1680-1638)+...+(14,0-15,7)(1640-1638)=3274,8;$$

по формуле (33)

$$b_1=3274,8/119\cdot3249=0,00847;$$

по формуле (34) прил.7

$$b_0=15,7-0,00847\cdot1638=15,8-13,88=1,82.$$

Для рассматриваемой партии контрольных образцов уравнение (32) принимает вид:

$$R=1,82+0,00847\rho.$$

Точность полученного уравнения проверяем по формуле (26). Для этого определяем по формуле (5) прил.7

$$S_{LF}=[(14,7-15,7)^2+(15,9-15,3)^2+...+(15,5-15,4)^2+(14,0-15,5)^2]/118=$$
$$=1,6\ \text{МПа}\ (16\ \text{кгс/см}^2);$$

$$F_p=1,6/1,4=1,14.$$

По прил.9 при трех контрольных измерениях в 120 сериях критерий Фишера $F_T=1,432$.

Так как $F_p=1,14<F_T=1,432$, принятая зависимость справедлива. Ее можно использовать для прогнозирования прочности через плотность.

ПРИЛОЖЕНИЕ 8

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ КЕРАМЗИТОБЕТОНА НА ИЗВЕСТНЯКОВОМ ПЕСКЕ

Обоснование экономической целесообразности использования известнякового песка проводили по методике, изложенной в Инструкции по определению экономической эффективности использования в строительстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений. СН 509-78 (М., Стройиздат, 1979), для случая эффекта от создания и использования новых строительных конструкций путем расчета соответствующего годового экономического эффекта.

Расчет экономического эффекта от внедрения керамзитобетона выполнен для четырех вариантов сравнения:

I – на известняковом песке взамен тяжелого бетона ($Э^{I}$);

II – на известняковом песке взамен керамзитобетона на кварцевом песке ($Э^{II}$);

III – с высоким содержанием известнякового песка ($Э^{III}$);

IУ – то же ($Э^{IУ}$).

В основу расчетов положены следующие предпосылки:

1) Годовой объем внедрения керамзитобетона на известняковом песке принимается равным 100 тыс.м^3, что приблизительно соответствует мощности среднего ДСК или завода ЖБИ.

2) Новой техникой (строительными конструкциями) для всех вариантов сравнения приняты конструкции, изготовленные из керамзитобетона на известняковом песке.

3) Базовыми (эталонными) приняты конструкции из тяжелого бетона (I и IУ вариант), керамзитобетона на кварцевом песке (II вариант) и керамзитобетона на известняковом песке со значением агрегатно-структурного фактора равным М/(М+К) =0,53 (III вариант).

4) Затраты на возведение конструкций базового варианта и варианта новой техники на стройплощадке принимаются условно одинаковыми.

I вариант. Расчет экономического эффекта от внедрения керамзитобетона на известняковом песке взамен тяжелого бетона ($Э^{I}$).

Сравниваемые составы марки М200 приведены в табл.1.

Таблица 1

№ состава	Наименование бетона	Расход материалов, $\frac{кг}{л}$ /м^3						
		цемент марки М400	вода	песок		керамзит		щебень
				кварцевый	известняковый	5–10 мм	10–20 мм	
1	Тяжелый бетон М200	380 / 122	160	627 / 220	–	–	–	1332 / 498
2	Керамзитобетон на известняковом песке М200	425 / 137	250	–	785 / 325	127 / 144	122 / 144	–

Примечание. Объемная дозировка приведена для плотного состояния материалов с вычетом пустот.

Стоимость исходных материалов приведена в табл.2.

Таблица 2

Единица измерения	Сметная стоимость, руб.						
	Цемент	Песок		Щебень из естественного камня фракции 5–20 мм, марки 1000	Керамзит, марка по насыпной плотности 500 фракций		Вода
		кварцевый	известняковый		5–10 мм	10–20 мм	
т	20,00	6,9	1,03	7,56	32,4	31,4	0,17
м^3	–	10,4	–	12,10	16,2	15,7	0,17

Примечания: 1. Стоимость песка определяется по постановлению МВК и калькуляции портов; щебня по Прейскуранту № 06.12.02 и № 1.01.002; керамзита по фракциям: 5–10 мм, 10–20 мм – по Прейскуранту № 06.13.02 и № 5.01000.

2. Приведенные стоимости приняты по Сборнику сметных цен на местные строительные материалы, изделий и конструкции для промышленно-гражданского строительства в Одесской области (Одесса, 1983).

3. Сметная стоимость известнякового песка принята на основании следующего расчета:

а) оптовая цена отходов камнепиления известняка-ракушечника, как добавки-наполнителя в строительных растворах (по Прейскуранту № 06-12-02, поз.3.04.011, ТУ21 УССР 138–78) – 0,50 руб/т;

б) перевозка автотранспортом на расстояние 5 км от места разработки до ДСК – 0,41 руб/т;

в) разгрузка – 0,12 руб/т;

Итого, расчетная сметная стоимость известнякового песка равна 1,03 руб/т.

Расчет стоимости исходных материалов в 1 м^3 сравниваемых составов и стоимости каждого состава бетонов приведен в табл.3.

Таблица 3

Наименование исходного материала	Расход материалов, т/м^3		Стоимость единицы, руб/т	Стоимость материала, руб/м^3	
	состав № 1	состав № 2		состав № 1	состав № 2
Цемент марки М400	0,380	0,425	20	7,60	8,5
Песок кварцевый	0,627	–	6,9	4,33	–
Песок известняковый	–	0,785	1,03	–	0,81
Гравий керамзитовый фракций, мм:					
5–10	–	0,127	32,40	–	4,11
10–20	–	0,122	31,40	–	3,83
Щебень из естественного камня фракций 5–20	1,332	–	7,56	10,06	–
Вода	0,150	0,250	0,17	0,03	0,04
Итого	–	–	–	C_1=22,02	C_2=17,29

Экономия на 1 м^3 бетонной смеси, исходя из данных табл.3, равна

$$C_1 - C_2 = 22{,}02 - 17{,}29 = 4{,}73 \text{ руб/м}^3.$$

Расчет годового экономического эффекта

Согласно СН 509-78, исходная расчетная формула имеет вид

$$Э = [(З_1 + З_{c_1})\varphi + Э_э - (З_2 + З_{c_2})]A_2, \qquad (1)$$

где $Э_э$ – экономия, руб., в сфере эксплуатации на единицу конструктивного элемента по сравниваемым вариантам. В нашем случае $Э_э = 0$; φ – коэффициент изменения срока службы новой строительной конструкции по сравне-

нию с базовым вариантом. Учитывая, что срок службы конструкций из керамзитобетона на известняковом песке по сравнению с такими же конструкциями из тяжелого бетона не меняется $\varphi = 1$; $З_{C_1}$ и $З_{C_2}$ – приведенные затраты по возведению конструкций на стройплощадке (без учета стоимости заводского изготовления) по сравниваемым вариантам базовой и новой техники (строительной конструкции) в руб. на единицу измерения. В нашем случае для упрощения расчета $З_{C_1} = З_{C_2}$; $З_1$ и $З_2$ – приведенные затраты на заводское изготовление конструкций (деталей) с учетом стоимости транспортировки до строительной площадки по сравниваемым вариантам базовой и новой техники (строительной конструкции) в руб. на единицу измерения.

Расчетные формулы

$$З_1 = C_1 + E_н K_1; \quad (2)$$

$$З_2 = C_2 + E_н K_2. \quad (3)$$

С учетом формул (2) и (3) формула (1) примет вид

$$Э = [(C_1 - C_2) + E_н (K_1 - K_2)] \cdot A_2, \quad (4)$$

где $E_н$ – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений. В нашем случае, для расчетов экономической эффективности новой техники (строительной конструкции) $E_н = 0{,}15$; C_1 и C_2 – себестоимости единицы строительно-монтажных работ (продукции) соответственно по вариантам базовой и новой техники. В нашем случае $C_1 - C_2 = 4{,}73$ руб/м^3; K_1, K_2 – удельные капитальные вложения в производственные фонды на единицу строительно-монтажных работ (продукции), соответственно, по вариантам базовой и новой техники (строительной конструкции); A_2 – годовой объем внедрения керамзитобетона на известняковом песке. Принят равным 100 тыс.м^3.

Принимаем нормативный запас сырья на 20 рабочих дней. При принятом годовом объеме внедрения этот запас обеспечит выпуск керамзитобетона, равный

$$B = (A_2/p)20 = (100\,000/258)20 = 7760 \text{ м}^3,$$

где p – число рабочих дней в году.

Исходя из полученной экономии на 1 м^3 бетонной смеси при замене тяжелого бетона на керамзитобетон на известняковом песке, удельные капиталовложения могут быть уменьшены на величину

$$7760 \cdot 4{,}73 = 36\,705 \text{ руб.}$$

$$K_1 - K_2 = 36\,705/100\,000 = 0{,}37.$$

Годовой экономический эффект при этом составит

$$Э^1 = (4{,}73 + 0{,}15 \cdot 0{,}37)\ 100\,000 = 478\,550 \text{ руб.}$$

II вариант. Расчет экономического эффекта от внедрения керамзитобетона на известняковом песке взамен керамзитобетона на кварцевом песке ($Э^н$).

Сравниваемые составы марки М200 приведены в табл.4.

Сметную стоимость исходных материалов принимаем по табл.2.

Расчет стоимостей исходных материалов в 1 м^3 сравниваемых составов и стоимости каждого состава керамзитобетонов приведены в табл.5.

Таблица 4

№ состава	Наименование бетона	Расход материалов, кг/л/м³					
		цемент М400	вода	песок		керамзит	
				кварцевый	известняковый	5–10 мм	10–20 мм
2	Керамзитобетон на известняковом песке М200	425	250	–	785	127	122
		137			325	144	144
3	Керамзитобетон на кварцевом песке М200	425	250	795	–	127	122
		137		325		144	144

Таблица 5

Наименование исходных материалов	Расход материалов, т/м³		Стоимость единицы, руб/т	Стоимость материала, руб/м³	
	состав № 2	состав № 3		состав № 2	состав № 3
Цемент марки 400	0,425	0,425	20	8,5	8,5
Песок кварцевый	–	0,795	6,9	–	5,48
Песок известняковый	0,785	–	1,03	0,81	–
Гравий керамзитовый фракций 5–10 мм	0,127	0,127	32,4	4,11	4,11
Гравий керамзитовый фракций 10–20 мм	0,122	0,122	31,40	3,83	3,83
Вода	0,250	0,25	0,17	0,04	0,04
Итого	–	–	–	C_2=17,29	C_3=21,96

Экономия на 1 м³ бетонной смеси, исходя из данных табл. 5 равна

$$C_3 - C_2 = 21{,}96 - 17{,}29 = 4{,}67 \text{ руб/м}^3.$$

Расчет годового экономического эффекта

Расчет проводим по формулам (1) – (4) прил.8.

Удельные капиталовложения при замене керамзитобетона на кварцевом песке керамзитобетоном на известняковом песке могут быть уменьшены на величину

$$7760 \cdot 4{,}67 = 36\,239 \text{ руб.}$$
$$K_3 - K_2 = 36\,239 / 100\,000 = 0{,}36 \text{ руб.}$$

Годовой экономический эффект при этом составит
$Э^{II} = (4{,}67 + 0{,}15 \cdot 0{,}36) \cdot 100\,000 = 472\,400$ руб.

III вариант. Расчет экономического эффекта от использования керамзитобетона с высоким содержанием известнякового песка ($Э^{III}$). Сравниваемые составы марки М200 приведены в табл. 6

Таблица 6

№ состава	$\frac{М}{(М+К)}$	Расход материалов, $\frac{кг}{л}$ /м³					Объемная плотность керамзитобетона в сухом состоянии ρ, кг/м³
		цемент марки 400	вода	известняковый песок	керамзит		
					5–10 мм	10–20 мм	
2	0,53	425 / 137	250	785 / 325	127 / 144	122 / 144	1600
4	0,7	425 / 137	250	1146 / 427	82 / 93	79 / 93	1690

Сметную стоимость исходных материалов принимаем по табл.2.

Расчет стоимостей исходных материалов в 1 м³ сравниваемых составов и стоимости каждого состава керамзитобетонов приведены в табл. 7.

Таблица 7

Наименование исходных материалов	Расход материалов т/м³		Стоимость единицы, руб/т	Стоимость материалов, руб/м³	
	состав № 2	состав № 4		состав № 2	состав № 4
Цемент М400	0,425	0,425	20	8,5	8,5
Песок известняковый	0,785	1,46	1,03	0,81	1,18
Гравий керамзитовый фракции 5–10 мм	0,127	0,082	32,4	4,11	2,66
Гравий керамзитовый фракций 10–20 мм	0,122	0,079	31,4	3,83	2,48
Вода	0,25	0,25	0,04	0,04	0,04
итого	—	—	C_2 =	17,29	C_4 = 14,86

Экономия на 1 м ^{3} бетонной смеси, исходя из данных табл. 7, равна

$$C_2 - C_4 = 17{,}29 - 14{,}86 = 2{,}43 \text{ руб/м}^3.$$

Расчет годового экономического эффекта

Расчет проводим по формулам (1) – (4) прил.8.

Удельные капиталовложения при увеличении содержания известнякового песка и, соответственно, уменьшении содержания керамзитового гравия в керамзитобетоне М200 могут быть уменьшены на величину

$$7760 \cdot 2{,}43 = 18\,857 \text{ руб.}$$

$$K_2 - K_4 = 18\,857 / 100\,000 = 0{,}19 \text{ руб.}$$

Годовой экономический эффект при этом составит

$$Э^{Ш} = (2{,}43 + 0{,}15 \cdot 0{,}19)\ 100\,000 = 245\,850 \text{ руб.}$$

IУ вариант. Расчет экономического эффекта от внедрения взамен тяжелого бетона керамзитобетона с высоким содержанием известнякового песка.

Сравниваемые составы марки М200 приведены в табл.1 (состав №1) и в табл.6 (состав №4).

Расчеты стоимостей для состава №1 и состава №4 приведены соответственно в табл.3 и 7.

Экономия на 1 м^3 бетонной смеси, исходя из данных этих таблиц, равна

$$C_1 - C_4 = 22{,}02 - 14{,}86 = 7{,}16 \text{ руб.}$$

Удельные капитальные вложения при этом варианте сравнения могут быть уменьшены на величину

$$7760 \cdot 7{,}16 = 55\,562 \text{ руб.}$$

$$K_1 - K_4 = 55\,562 / 100\,000 = 0{,}56 \text{ руб.}$$

Годовой экономический эффект при этом составит

$$Э^{IУ} = (7{,}16 + 0{,}15 \cdot 0{,}56) \cdot 100\,000 = 724\,400 \text{ руб.}$$

ЗНАЧЕНИЯ КРИТЕРИЯ ДЛЯ F - РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФИШЕРА ПРИ СТЕПЕНИ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ $q = 0{,}95$

ν_1 / ν_2	2	3	4	5	6	7	8	9
1	200	216	225	230	234	237	239	241
2	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,36	19,37	19,38
3	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,88	8,84	8,81
4	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00
5	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,78
6	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10
7	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,70	3,73	8,68
8	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39
9	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18
10	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02
11	3,98	3,59	3,36	3,20	3,09	3,01	2,95	2,90
12	3,88	3,49	3,26	3,11	3,00	2,92	2,85	2,80
13	3,80	3,41	3,18	3,02	2,92	2,84	2,77	2,72
14	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,77	2,70	2,65
15	3,68	3,29	3,06	2,90	2,79	2,70	2,64	2,59
16	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,66	2,59	2,54
17	3,59	3,20	2,96	2,81	2,70	2,62	2,55	2,50
18	3,55	3,16	2,93	2,77	2,66	2,58	2,51	2,46
19	3,52	3,13	2,90	2,74	2,63	2,55	2,48	2,43
20	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,52	2,54	2,40
30	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,34	2,27	2,21
40	3,23	2,84	2,61	2,45	2,34	2,25	2,18	2,12
60	3,15	2,76	2,52	2,37	2,25	2,17	2,10	2,04
120	3,07	2,68	2,44	2,29	2,17	2,08	2,01	1,95
∞	2,99	2,60	2,37	2,21	1,09	2,01	1,94	1,88

ν_1/ν_2	10	12	16	20	30	60	120	∞
1	242	244	246	248	250	253	253	254
2	19,39	19,41	19,43	19,44	19,46	19,48	19,49	19,50
3	8,78	8,74	8,69	8,66	8,62	8,57	8,56	8,53
4	5,96	5,91	5,84	5,80	5,74	5,68	5,66	5,63
5	4,47	4,68	4,60	4,56	4,50	4,42	4,40	4,36
6	4,06	4,00	3,92	3,87	3,81	3,72	3,71	3,67
7	3,63	3,57	3,49	3,44	3,38	3,28	3,28	3,23
8	3,34	3,28	3,20	3,15	3,08	3,00	2,98	2,93
9	3,13	3,07	2,98	2,93	2,86	2,77	2,76	2,71
10	2,97	2,91	2,82	2,77	2,70	2,61	2,59	2,54
11	2,86	2,79	2,70	2,65	2,57	2,47	2,45	2,40
12	2,76	2,69	2,60	2,54	2,46	2,36	2,35	2,30
13	2,67	2,60	2,51	2,46	2,38	2,28	2,26	2,21
14	2,60	2,53	2,44	2,39	2,31	2,21	2,19	2,13
15	2,55	2,48	2,39	2,33	2,25	2,15	2,12	2,07
16	2,49	2,42	2,33	2,28	2,20	2,09	2,07	2,01
17	2,45	2,38	2,29	2,23	2,15	2,04	2,02	1,96
18	2,41	2,34	2,25	2,19	2,11	2,00	1,98	1,92
19	2,38	2,31	2,21	2,15	2,07	1,96	1,94	1,88
20	2,35	2,28	2,18	2,12	2,04	1,92	1,90	1,84
30	2,16	2,09	1,99	1,93	1,84	1,72	1,69	1,62
40	2,07	2,00	1,90	1,84	1,74	1,61	1,59	1,51
60	1,99	1,92	1,81	1,75	1,65	1,50	1,48	1,39
120	1,90	1,83	1,72	1,65	1,65	1,49	1,36	1,25
∞	1,83	1,75	1,64	1,57	1,46	1,28	1,24	1,00

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 3

1. Общие положения 4
2. Требования к изделиям из керамзитобетона на известняковом песке 4

3. Требования к керамзитобетону на известняковом песке 5

4. Требования к исходным материалам 5

5. Проектирование и подбор составов керамзитобетона на известняковом песке. 9

6. Приготовление и транспортирование керамзитобетонной смеси 18

7. Формование и твердение конструкций и изделий. 19

8. Распалубка, доводка, хранение и транспортирование конструкций и изделий 23

9. Контроль качества конструкций и изделий, а также исходных материалов для их изготовления 24

Приложение 1. Рекомендуемые типы изделий из керамзитобетона на известняковом песке и способы их формования 26

Приложение 2. Сводные данные о характеристиках керамзита, известнякового песка и их исходных пород различных месторождений. 27

Приложение 3. Примерные технические условия на поставку предприятию-изготовителю (ДСК,ЗЖБИ) керамзита и известнякового песка 30

Приложение 4. Примерные исходные характеристики пористых заполнителей для привязки типовых проектов, проектирования составов бетона и контроля качества 31

Приложение 5. Методика определения прочности известнякового песка. 32

Приложение 6. Примеры расчета и назначения составов керамзитобетона на известняковом песке 34

Приложение 7. Статистическая обработка данных по прочности и плотности пористых заполнителей (керамзита и известнякового песка) и бетонов на их основе 52

Приложение 8. Технико-экономическая эффективность керамзитобетона на известняковом песке 54

Приложение 9. Значения критерия для F - распределения Фишера при степени обеспеченности $q = 0{,}95$ 61

НИЛЭП ОИСИ

Рекомендации
по производству
и применению керамзитобетона
на известняковом песке
для конструктивных элементов
жилых домов

Редакция инструктивно-нормативной литературы
Зав.редакцией *Л.Г. Бальян*
Редактор *И.А.Баринова*
Мл.редактор *О.В.Гришина*
Технический редактор *Н.Л. Белькович*
Операторы *Н.М.Гайнулина, Е.А.Новоселова*
Корректор *Е.Р. Герасимюк*

Н/К

Подписано в печать 04.11.85 Т – 19345 Формат 60x90 1/16
Набор машинописный Печать офсетная Бумага офсетная
Печ.л. 4,0 Усл.кр.-отт. 3,57 Уч.-изд.л. 4,60 Тираж 5000 экз.
Изд. № XII–1035 Зак. № *1355* Цена 25 коп.

Стройиздат, Москва, 101442, Каляевская, 23 а

Московская типография № 4 Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
129041 Москва. Б. Переяславская ул. 46.

gost.e-ecolog.ru