



Ю. М. Тихонов, И. У. Аубакирова,  
С. Г. Головина, И. В. Коломиец

## АЭРИРОВАННЫЕ ЛЕГКИЕ РАСТВОРЫ И БЕТОНЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ И ИЗДЕЛИЯ НА ИХ ОСНОВЕ



Высшее профессиональное образование

Монография

АЭРИРОВАННЫЕ ЛЕГКИЕ РАСТВОРЫ И БЕТОНЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ И ИЗДЕЛИЯ НА ИХ ОСНОВЕ

Ю. М. Тихонов, И. У. Аубакирова, С. Г. Головина, И. В. Коломиец

2021

Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации

Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет

**Ю. М. Тихонов, И. У. Аубакирова,  
С. Г. Головина, И. В. Коломиец**

**АЭРИРОВАННЫЕ ЛЕГКИЕ РАСТВОРЫ  
И БЕТОНЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ  
ПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ  
И ИЗДЕЛИЯ НА ИХ ОСНОВЕ**

Монография

Санкт-Петербург  
2021

УДК 691.21.5.278:691.5534

*Рецензенты:*

д-р техн. наук, профессор *Т. М. Петрова* (СПбГУПиС);

д-р техн. наук, профессор *А. М. Харитонов* (СПбГАСУ)

**Тихонов, Ю. М.**

Аэрированные легкие растворы и бетоны с применением пористых заполнителей и изделия на их основе : монография / Ю. М. Тихонов, И. У. Аубакирова, С. Г. Головина, И. В. Коломиец ; под общ. ред. д-ра техн. наук, профессора, почетного работника высшего профессионального образования, чл.-корр. Петровской академии наук и искусств Ю. М. Тихонова ; Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2021. – 202 с. – Текст : непосредственный.

ISBN 978-5-9227-1160-9

Исследуются разработка и внедрение аэрированных композитов на основе вяжущего вещества, вермикулита и перлита, а также побочных продуктов промышленных производств.

Цели настоящей работы – разработка концепции формирования поровой структуры методом аэрирования; исследование конструктивно-теплоизоляционных, декоративных теплоогнезащитных бетонов и растворов; внедрение технологии производства стеновых каменных плит, перегородок, «теплых» стяжек полов из аэрированных легких бетонов (АЛБ).

Разработаны и исследованы составы декоративных огнетеплозащитных композитов с применением вспученных заполнителей, волокнистых наполнителей на гипсовых вяжущих.

Предназначена для научно-технических работников, преподавателей высшей школы, студентов и специалистов в области технологии строительных материалов.

Табл. 76. Ил. 69. Библиогр.: 143 назв.

*Печатается по решению Научно-технического совета СПбГАСУ*

*Авторы выражают глубокую благодарность за активное участие в создании данной работы канд. техн. наук Т. Ю. Гугучкиной, канд. техн. наук А. С. Макбузову, магистру М. С. Зубареву и завлабораторией строительных материалов Н. М. Платоновой*

ISBN 978-5-9227-1160-9

© Тихонов Ю. М., Аубакирова И. У.,

Головина С. Г., Коломиец И. В., 2021

© Санкт-Петербургский государственный

архитектурно-строительный университет, 2021

## Введение

Аэрированный легкий бетон (АЛБ) – это конструкционно-теплоизоляционный композит, сочетающий в себе свойства пенобетона и легкого бетона на пористом заполнителе. Мелкопористая структура материала формируется активным воздухововлечением в присутствии ПАВ в скоростных смесителях (400–800 об/мин) турбулентного типа и высокопористым заполнителем. Изделия формируются методом пластического формования. Характерными особенностями АЛБ также являются: малые усадочные деформации при твердении (менее 0,4 мм/м), высокий коэффициент конструктивного качества; изделия гродзятся, пилятся и фрезеруются.

Легкому бетону принадлежит важная роль в решении технической задачи по снижению массы возводимых конструкций и уменьшению за счет них материалоемкости строительства. Конструкции стен и покрытий из легких бетонов с низкой теплопроводностью сберегают тепло в помещениях и тем самым позволяют тратить меньше топлива и энергии на отопление зданий, при этом учитываются возросшие требования к стеновым материалам, в частности увеличение термического сопротивления ограждающих конструкций в три раза. Эффективные легкие бетоны позволяют решать эти задачи.

Поскольку предложенные нами аэрированные композиты на пористых заполнителях совмещают в себе свойства как ячеистых бетонов (пенобетонов), так и легких бетонов на пористых заполнителях, нами был проведен литературный анализ особенностей формирования поровой структуры и технических свойств этих бетонов. Исследовались строительные растворы и сухие строительные смеси (ССС) специального назначения, теплоогнезащитные, декоративные, водостойкие.

Смесь компонентов из высокопористых заполнителей, вяжущего вещества, воды, поверхностно-активного вещества, волокнистого наполнителя с необходимой дозировкой затворялась водой и перемешивалась с помощью миксера со специальной насадкой (Bosh TR) (скорость вращения – 400–600 об/мин). При этом происходит объемное воздухововлечение (получается аэрированная рас-

творная смесь, которая отличается высокой подвижностью и водоудерживающей способностью).

Наличие больших сырьевых ресурсов пористых заполнителей, значительный объем побочных продуктов промышленного производства и недостаточный объем их использования в производстве строительных материалов и изделий – характерная особенность экономического развития страны. На волне импортозамещения возрастает потребность в использовании относительно дешевых местных стеновых и теплоизоляционных материалов хорошего качества. Расширяется производство теплоизоляционных, огнезащитных бетонов и декоративных растворов, стеновых камней и плит перегородок для малоэтажного строительства. Создание небольших цехов на отечественном оборудовании по их производству из аэрированного легкого бетона на основе местных материалов является одним из эффективных технико-экономических решений данной проблемы.

Разработаны составы и исследованы свойства аэрированных легких бетонов (АЛБ) и растворов (АЛР) для производства стеновых камней и плит перегородок с применением различных высокопористых заполнителей.

Исследования, результаты которых приведены в работе, посвящены разработке и внедрению материалов на основе вермикулита, перлита и отходов пенополистирола, хвойных опилок. Являясь универсальными высокопористыми заполнителями, они позволяют получать легкие композиционные материалы многоцелевого назначения, в том числе методом аэрирования.

Целью исследования является решение проблемы широкого использования ряда пористых заполнителей в производстве конструктивно-теплоизоляционных бетонов и растворов, а также разработка концепции формирования поровой структуры и технических свойств этих материалов методом аэрирования; исследование и разработка «теплых» растворов для стяжек полов, технологии производства стеновых камней, сухих строительных смесей, плит перегородок, теплоогнезащитных растворов на основе вспученного вермикулита, перлита и других пористых заполнителей; подбор оптимальных составов с целью создания конструктивно-теплоизоляционного композита с наименьшей средней плотностью и высокими прочностными характеристиками.

# **Глава 1. АЭРИРОВАННЫЕ ЛЕГКИЕ РАСТВОРЫ И СУХИЕ СМЕСИ НА ОСНОВЕ ВСПУЧЕННОГО ВЕРМИКУЛИТА И ПЕРЛИТА, А ТАКЖЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ, ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ**

Задачей исследований, результаты которых изложены в данной работе, являлось получение легких, аэрированных (конструктивно-теплоизоляционных и теплоизоляционных) строительных растворов с применением вспученных заполнителей (вермикулита и перлита) с целью использования в «теплых» стяжках полов и в штукатурках различного назначения.

В 60–70-е гг. XX в. применительно к конструктивным мелкозернистым бетонам и растворам (без введения каких-либо пористых заполнителей) со средней плотностью  $1700 \text{ кг/м}^3$  и более, полученных в скоростном смесителе, профессором А. В. Саталкиным и его учениками из Ленинградского института инженеров железнодорожного транспорта имени академика В. Н. Образцова, ЛИИЖТ (ныне Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, ПГУПС), был введен термин «аэрированные бетоны и растворы» [98, 99] на основе указаний Rilem [143].

Значительные исследования в области получения конструктивных аэрированных растворов и технологии их приготовления выполнил в начале 70-х гг. XX в. В. Т. Соколовский [108]. Им, в частности, разработаны и внедрены аэрированные цементно-песчаные смеси для омоноличивания стыков железобетонных тубингов при строительстве Ленинградского метрополитена. Смеси содержали значительные количества портландцемента М-500 и немолотый мелкий морской песок в соотношении 1:1–1:1,5 по массе при В/Ц = 0,32–0,37. В качестве воздуховлекающей добавки использовались алкилфенол (ОП-7) или сульфанола в количестве 0,1–0,15 % от массы цемента. Аэрированные растворы имели высокую прочность ( $R_{сж} = 25,0–35,0 \text{ МПа}$ ) со средней плотностью  $1700–1900 \text{ кг/м}^3$

и незначительной усадкой при твердении (0,2–0,15 мм/м). Это выгодно отличало их от растворов, приготовленных в обычных «тихоходных» смесителях.

В. В. Стольников [110] впервые показал, что при введении ПАВ в бетонные и растворные смеси и интенсивном воздухоовлечении уменьшение диаметра пузырьков приводит к росту избыточного давления внутри них. Так, уменьшение диаметра с 0,02 до 0,002 см вызывает увеличение внутреннего давления с 14 до 140 г/см<sup>2</sup>, то есть более чем в 10 раз. Эти исследования послужили теоретической базой для получения аэрированных бетонов на немолотом песке. Однако значительная плотность, большой расход высокомарочного цемента (600–700 кг/м<sup>3</sup>) и высокая теплопроводность ( $\lambda > 0,5$  Вт/м · К) не позволили наладить производство эффективных аэрированных легких бетонов и растворов.

## **1.1. Аэрированные и поризованные легкие вермикулито-перлитопесчаные растворы стяжек полов**

В гражданском строительстве устройство полов является одним из трудоемких процессов. По данным ЦНИИЭП жилища, стоимость междуэтажных перекрытий вместе с полами составляет 26–31 %, а от общей стоимости перекрытий на долю полов приходится 55 % [119].

Основания таких полов должны обладать необходимой прочностью и долговечностью, иметь низкое теплоусвоение, ровную и гладкую поверхность, обеспечивать надежную звукоизоляцию, а в ряде случаев и высокие теплоизоляционные свойства. В практике строительства устройство оснований полов под покрытие линолеумом и другими полимерными материалами осуществляется двумя приемами: «сухим» и «мокрым». При «сухом» способе идет монтаж элементов пола заводской готовности из ДВП, МДФ, ДСП, фанеры, гипсокартона, гипсоволокнистых плит [46, 47, 59].

В СССР наиболее широкое распространение нашли керамзитобетонные основания полов, устраиваемые по «мокрой» технологии. Из-за значительной шероховатости поверхности перед устройством чистого пола такое основание шлифуется. В случае выравнивания керамзитобетонной стяжки цементопесчаной растворной смесью повышается теплоусвоение.

Как показали проведенные нами исследования и опыт внедрения, основания полов, выполненные из цементно-песчаных растворов, поризованных вспученным вермикулитом (перлитом) с добавкой воздухоовлекающих ПАВ, лишены названных выше недостатков.

В состав исследуемых легких растворов входят вспученные заполнители с крупностью зерен до 5 мм, и предназначены они для использования в виде тонкого слоя – 3–5 см – при устройстве «теплых» стяжек полов, со средней плотностью менее 1400 кг/м<sup>3</sup> (ГОСТ 28013–98). Их называют «теплыми», так как они имеют низкое теплоусвоение.

Такие растворы с использованием вспученного вермикулита (перлита) до наших исследований для производства «теплых» стяжек-оснований полов под покрытие полимерными материалами (линолеум, плитка ПВХ, ковролин и др.) не применялись.

Ниже представлены результаты подбора составов и использования свойств поризованных и аэрированных легких вермикулито- и перлитопесчаных растворов для устройства «теплых» стяжек-оснований полов под покрытие полимерными материалами.

### ***Подбор составов и свойства легких растворов стяжек полов***

Вспученные вермикулит и перлит являются особо легкими заполнителями и отличаются невысокой механической прочностью. Конструктивно-теплоизоляционные растворы и бетоны на их основе получают при повышенном расходе вяжущего. Вермикулитобетоны имеют сравнительно небольшую среднюю плотность  $\rho_0 = 850\text{--}1300$  кг/м<sup>3</sup>,  $R_{сж}^{28} = 2,5\text{--}7,5$  МПа. Они отличались весьма значительным расходом портландцемента (650–900 кг/м<sup>3</sup>) и большими усадочными деформациями (3–6 мм/м) [83]. Попытки устранения этих недостатков путем замены части цемента молотым гранулированным шлаком, а части вспученного вермикулита – обожженной вермикулитовой породой полностью задачу получения высококачественных легких растворов и бетонов не решили [83]. С целью снижения расхода портландцемента и усадочных деформаций, образования прочного каркаса в качестве заполнителя наряду с вермикулитом (перлитом) нами использовался природный песок. Полученные цементопесчаные растворы, поризованные легкими заполнителями, названы вермикулитопесчаными, а на основе вспученного перлита – перлитопесчаными.

Применение особо легких вспученных заполнителей (перлита и вермикулита) позволило снизить среднюю плотность и теплопроводность растворов. Дополнительная поризация растворных смесей осуществляется также с помощью воздухововлекающих ПАВ. Таким образом можно получить аэрированные (поризованные) теплоизоляционно-конструктивные растворы марок 50 и выше со средней плотностью 900–1300 кг/м<sup>3</sup>.

## Подбор составов вермикулитопесчаных растворов

Исследовались легкие растворы (неаэрированные) с применением вспученного вермикулита и перлита для их использования в производстве «теплых» стяжек оснований полов.

При подборе составов таких растворов изготавливались серии образцов с различными соотношениями между цементом, песком и пористым заполнителем (по объему) (рис. 1.1).

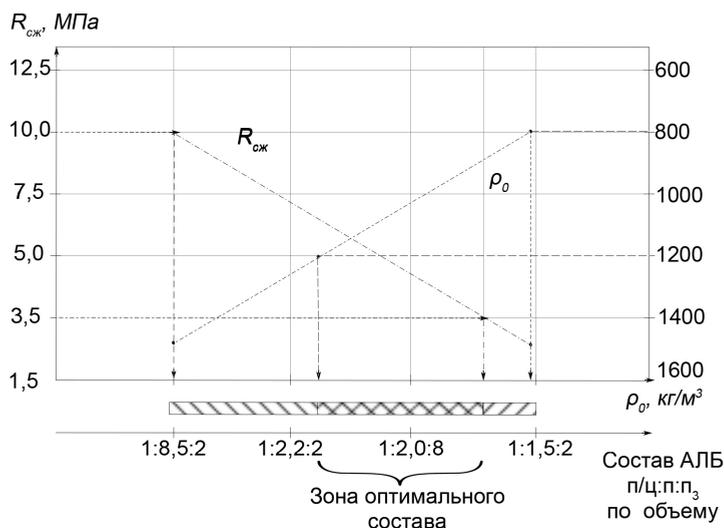


Рис. 1.1. Зависимость предела прочности при сжатии и средней плотности АЛБ от его состава. Цифры обозначают соотношение объемных частей портландцемента (п/ц), природного песка (п), пористого заполнителя (п<sub>3</sub>)

В каждой серии изменялось В/Ц, а соотношение между вяжущим и смешанным заполнителем (песок : пористый заполнитель) оставалось постоянным. За оптимальные были приняты составы со средней плотностью не более 1250 кг/м<sup>3</sup>, прочностью при сжатии не менее 4,0 МПа. Подвижность растворовных смесей – 8–10 см. Такие требования предъявляются к растворам для «теплых» стяжек полов [114, 116]. Ниже приведены зависимости  $\rho_0$ ,  $R_{сж}$  и  $R_{изг}$  вермикулитопесчаных растворов от их состава. Испытания образцов производились в возрасте 28 суток воздушного хранения.

Из табл. 1.1 следует, что, меняя соотношение между компонентами, можно получить материалы с широким диапазоном свойств. Форма зерен вспученного вермикулита влияет на свойства растворов. Образцы на вермикулите кубо-

образной формы имели среднюю плотность на 10 % ниже, чем на зернах пластинчатой формы того же состава, и имели коэффициент выхода на 15 % выше. В то же время составы на пластинчатом вермикулите имели большие показатели прочности при изгибе. Подбор состава осуществлялся с использованием экспериментального аэросмесителя. Схема аэросмесителя лаборатории строительных материалов ЛИСИ представлена на рис. 1.2.

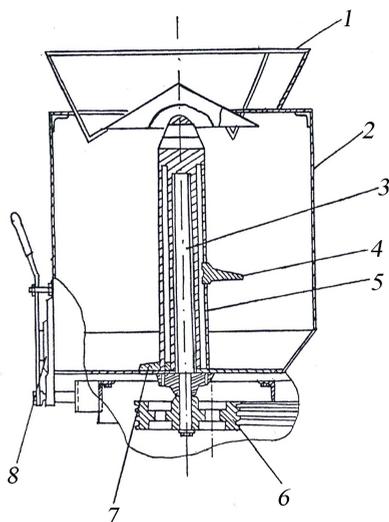


Рис. 1.2. Схема аэросмесителя  $V = 80$  л: 1 – загрузочная воронка; 2 – барабан; 3 – вал; 4 – большие смешивающие лопатки; 5 – подвижный цилиндр; 6 – приводной шкив; 7 – малые пенообразующие лопатки; 8 – выгрузочное устройство

Влажность сухой смеси определялась на анализаторе влажности PRECISA (Швейцария) XM 50, имеющем предел взвешивания 50 г, диапазон измерения влажности 0,01 %, температурный диапазон 30–170 °С (рис. 1.3).

Гранулометрический состав смеси определялся с помощью воздушнотруйного ситового аппарата Hosokawa ALPINE 200 LS-N (рис. 1.4). Проба массой 50 г просеивалась через сита с сетками № 1,25, 0,20, 0,125. Время испытаний – 3 мин.

Приготовление легких бетонных и растворных смесей проводилось в лабораторном скоростном аэросмесителе с двумя системами лопастей ( $V = 800$  об/мин, объем – 80 л) (рис. 1.5), а также в лабораторном пятилитровом смесителе Hobard (рис. 1.6), имеющем три скорости перемешивания: 60, 120 и 240 об/мин.

Промышленный аэросмеситель представляет собой вертикально стоящий барабан, в центре которого одет подвижный цилиндр с тремя малыми пенообразующими лопатками, расположенными у дна барабана, и тремя больши-

Таблица 1.1

**Характеристика вермикулитопесчаных растворов, приготовленных  
на вермикулитах разного вида и формы зерен**

Вид ковдорского вермикулита	Преобладающая форма зерен	Состав (цемент М400: песок : вермикулит) по объему	В/Ц	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности при сжатии, МПа		Предел прочности при изгибе, МПа		Коэффициент выхода растворной смеси
					пропарка	пропарка + 28 дней	пропарка	пропарка + 28 дней	
Гидрофлотопит, обожженный в трубчатой печи	Пластинчатая	1:0,5:2,0 1:0,75:1,75 1:1:2	0,85 0,84 0,82	1120 1250 1310	3,28	4,67	2,03	2,56	0,51–0,580
					4,15	6,30	2,44	2,58	
					4,22	5,20	3,61	3,61	
Гидрофлотопит, обожженный в шахтной печи	Кубообразная	1:0,5:2,0 1:0,75:1,75 1:1:2	0,81 0,80 0,78	1085 1130 1230	3,87	5,13	1,61	2,32	0,58–0,630
					4,08	6,50	2,24	2,98	
					4,48	5,62	3,27	3,21	
Вермикулит, обожженный в трубчатой печи	Кубообразная	1:0,5:2,0 1:0,75:1,75 1:1:2	0,80 0,78 0,76	1090 1200 1280	3,72	5,35	1,58	2,35	0,58–0,61
					4,06	6,62	2,35	2,94	
					3,85	5,86	2,80	2,80	

### 1.1. Аэрированные и поризованные легкие вермикулито-перлитопесчаные растворы...

ми смешивающими лопатками пропеллерного типа на одной трети высоты барабана. Над вращающим валом установлен загрузочный конус для того, чтобы загружаемые материалы (порошкообразные вяжущие, плотные и мелкозернистые заполнители) попадали на концы лопастей, а не на вал. Это устраняет образование «завалов», а также создает равномерное насыщение смеси пузырьками воздуха (см. рис. 1.6).



Рис. 1.3. Анализатор влажности Precisa XM-60



Рис. 1.4. Воздухоструйный ситовой аппарат Hosokawa ALPINE 200 LS-N



Рис. 1.5. Смеситель электрический ручной Home



Рис. 1.6. Лабораторный смеситель Hobard

Гранулометрический состав смеси определялся с помощью воздушнотруйного ситового аппарата Hosokawa ALPINE 200 LS-N. (см. рис. 1.4). Время испытаний – 3 мин.

Последовательность приготовления аэрированных бетонных смесей была принята с учетом ранее проведенных исследований. В смеситель заливалась вода с добавкой ПАВ (в ряде случаев – и ускорители схватывания и твердения). Затем засыпались последовательно вяжущие, плотные заполнители (песок природный) и последним – пористый заполнитель.

Приготовление огнезащитной ССС для испытаний проводилось также в гомогенизаторе объемом 4 л (рис. 1.7). Время перемешивания смеси в нем составляло 5 мин. Кроме того, использовался адгезиометр (рис. 1.8).



Рис. 1.7. Гомогенизатор



Рис. 1.8. Адгезиометр

Перемешивание длилось 30 с. Затем в полученную водную эмульсию, насыщенную пузырьками воздуха, вводился портландцемент или смешанное вяжущее и песок. Продолжительность перемешивания – 2 мин. Поскольку прочность зерен невелика, последним засыпали мелкозернистый пористый заполнитель. Перемешивание – еще 1 мин.

Образцы АЛБ и легкие растворы на основе сухих строительных смесей (ССС) твердели на воздухе при  $t_{\text{возд}} = 18\text{--}20\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $W_{\text{отн. возд}} = 90\text{--}98\text{ \%}$ . Образцы АЛБ и изделия из него в ряде случаев после выдерживания на воздухе в течение 18–20 часов подвергались пропариванию по режиму (2 + 6 + 4) часа при  $t = 90\text{--}100\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

С целью снижения средней плотности растворов, повышения удобоукладываемости, подвижности вермикулитопесчаных растворных смесей использовались воздухововлекающие ПАВ – ЦНИПС-1 и СНВ. В табл. 1.2 приведены результаты испытаний.

Таблица 1.2

**Влияние поверхностно-активных добавок на свойства вермикулитовых растворов состава 1:1:2 (Ц : П : В). Материалы: вспученный ковдорский гидрофлогонит  $\rho_n = 140 \text{ кг/м}^3$ , фр. 0,6–5 мм, портландцемент М-400**

В/Ц	Количество ПАВ, % от массы цемента	Тип добавки	Средняя плотность, $\text{кг/м}^3$	Предел прочности при сжатии, МПа	
				пропарка (4 + 6 + 4) часа	+ 28 дней
0,70	0,05	–	1420	5,41	6,91
0,75			1350	4,86	6,50
0,80			1300	4,27	5,56
0,70	0,075	СНВ	1400	5,08	6,87
0,75			1330	4,63	6,13
0,80			*1250	4,24	5,35
0,70	0,10	–	1350	3,87	4,84
0,75			1300	3,56	5,12
0,80			*1260	3,35	4,18
0,70	0,05	–	1380	4,94	6,42
0,75			1335	4,53	6,05
0,80			1285	4,25	5,86
0,70	0,075	ЦНИПС-1	1370	5,12	6,85
0,75			1295	4,32	5,85
0,80			*1205	3,98	5,24
0,70	0,10	–	1350	4,54	6,13
0,75			*1250	3,84	5,42
0,80			1180	3,65	4,78

Составы, отмеченные (\*), были рекомендованы к внедрению и опробованы в производственных условиях на объектах гражданского строительства трестом «Ленотделстрой» [56, 118].

По мере увеличения количества ПАВ средняя плотность поризованных растворов уменьшается до требуемых пределов (1180–1250  $\text{кг/м}^3$ ) и несколько снижается прочность. Оптимальное количество СНВ и ЦНИПС-1 0,075 % от массы цемента при В/Ц = 0,75–0,80. При этом образцы имеют  $\rho_0 = 1250 \text{ кг/м}^3$ ,  $R_{сж}^{28} = 52,4 - 53,5 \cdot 10^{-1} \text{ МПа}$ , что отвечает требованиям, предъявленным к основанию пола.

Несколько уступая керамзитобетону в показателях прочности при сжатии (при одинаковой средней плотности), вермикулитопесчаные растворы имеют  $R_{изг}$

на 10–20 % выше по сравнению с аналогичными показателями керамзитобетона. Это особенно важно при устройстве полов с «плавающей» «теплой» стяжкой по звукоизоляционным прослойкам.

Требованиям для устройства оснований полов удовлетворяют растворы состава 1:2,5 и 1:3 (портландцемент : смешанный заполнитель) по объему. Составы 1:3,5 являются наиболее экономичными (по расходу портландцемента), по прочностным же показателям и средней плотности не соответствуют требованиям СНиП. Но они могут использоваться при устройстве панелей перегородок, стеновых камней и в качестве «теплых» кладочных растворов.

Средняя плотность растворов с вермикулитом кубообразной формы (ковдорский и инаглинский) на 5–11 % меньше по сравнению с аналогичным показателем растворов с вермикулитом, имеющим пластинчатую форму зерен (ковдорский гидрофлогопит). Коэффициент выхода смеси на 5–10 % выше, а прочность при сжатии выше на 6–12 %.

Легкие вермикулитопесчаные растворы рекомендуется получать на вспученном вермикулите непрерывной гранулометрии, фр. 0,6–5 мм.

Для производства вермикулитопесчаных растворов следует использовать песок  $m_{кр} = 2–2,5$ , так как при этом получены образцы минимальной средней плотности и максимальной прочности.

Для оптимальных составов легких растворов с применением вспученного вермикулита, разработанных нами и рекомендованных для применения в производстве «теплых» стяжек полов, определялись следующие свойства: сорбционная влажность, водопоглощение и влагоотдача, морозостойкость, предел прочности при сжатии, модуль упругости, усадочные деформации.

На рис. 1.9 представлена зависимость сорбционной влажности вермикулитопесчаных растворов от относительной влажности воздуха.

С увеличением относительной упругости водяных паров гигроскопичность растворов возрастает. Абсолютные значения сорбционной влажности невелики (до 4,5 %) и не превышают соответствующих показателей легких бетонов с другими пористыми заполнителями и ячеистых бетонов [28, 32, 64]. Увеличение содержания вермикулита в растворах приводит к некоторому увеличению их сорбции, особенно при  $W_{возд}^{отн}$  более 75 %.

Вермикулитовые растворы обладают значительным водопоглощением (табл. 1.3), что связано с большой открытой пористостью вермикулита. Положительным свойством растворов является их интенсивное высыхание при хранении на воздухе. Уже через семь дней испытаний влажность снижалась до 5,8–7,2 %, а через месяц достигала значения сорбционной.

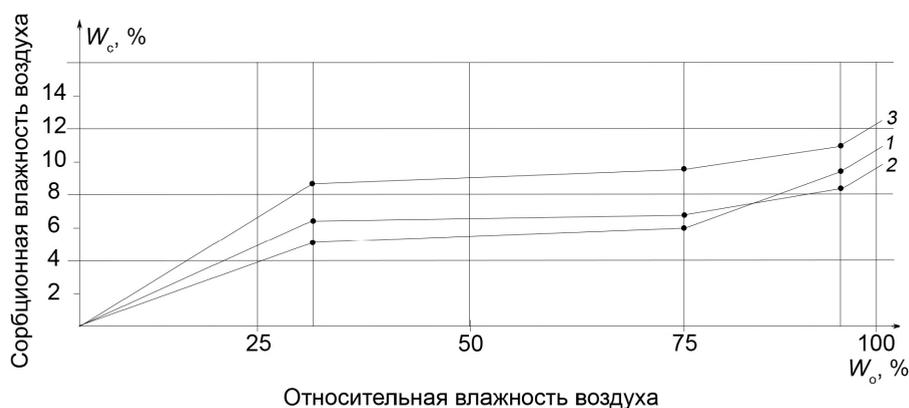


Рис. 1.9. Кривые сорбции вермикулито-песчаных растворов следующих составов: 1 – 1:0,5:2,0,  $\rho_0 = 1120 \text{ кг/м}^3$ ; 2 – 1:0,75:1,75,  $\rho_0 = 1250 \text{ кг/м}^3$ ; 3 – 1:1:2,  $\rho_0 = 1280 \text{ кг/м}^3$

Таблица 1.3

**Зависимость влажности твердеющих растворов (после пропарки) от условий и продолжительности твердения**

Состав по массе (цемент : песок : вермикулит)	Влажность твердеющих растворов при $t = 18-20 \text{ }^\circ\text{C}$ и $W_{\text{возд}}^{\text{отн}} = 50-60 \%$ в возрасте, сутки					
	1	3	7	14	28	45
1:0,5:2,0	27,2	21,2	7,2	4,3	3,6	3,0
1:0,75:1,75	18,8	14,3	5,8	3,7	2,9	2,7
1:1:2	22,8	16,8	6,4	4,2	2,8	2,6
1:1,5:2	16,5	12,8	5,9	4,0	3,0	2,8

У беспесчаных вермикулитовых растворов влажность достигает сорбционной через 50–60 суток.

Наблюдения за усадкой вермикулито-песчаных растворов в изотермической камере в течение шести месяцев показали, что усадочные деформации наиболее интенсивно развиваются в первые 7–28 суток (рис. 1.10) и практически стабилизируются через три месяца. Введение песка оказывает положительное влияние по сравнению с вермикулито-песчаными беспесчаными растворами. Это объясняется тем, что песок создает жесткий каркас, при этом уменьшается и расход цемента.

Испытания показали, что абсолютные значения усадки вермикулито-песчаных растворов не превышают соответствующих значений керамзитобетона.

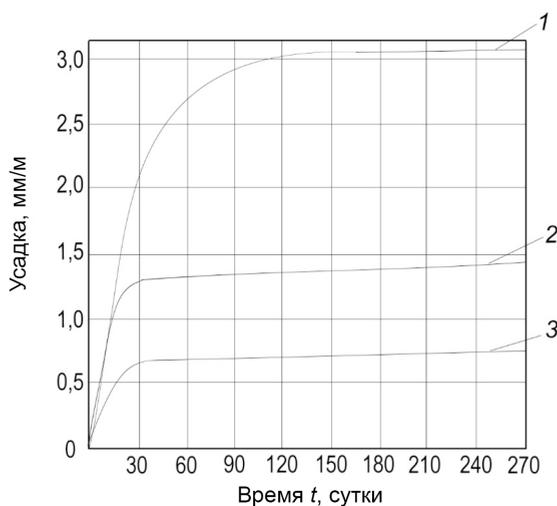


Рис. 1.10. Зависимость усадки вермикулитопесчаных растворов от времени твердения: 1 – состав 1:1 (цемент : вермикулит); 2 – 1:1:2 (цемент : минеральная добавка : песок); 3 – 1:1,5:2 (цемент : песок : вермикулит)

Динамический и статический модули упругости вермикулитопесчаных растворов (табл. 1.4) с увеличением содержания песка в растворе возрастают, что связано с механическими свойствами этого заполнителя.

Таблица 1.4

**Зависимость динамического и статического модулей упругости вермикулитопесчаных растворов от условий и продолжительности твердения**

Состав по массе (цемент : песок : вермикулит)	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности при сжатии, МПа	ККК	Модули упругости, 10 <sup>3</sup> МПа						
				Динамический				Статический		
				после воздушного твердения в течение				после пропарки	после пропарки + 28 дней	после воздушно- го твердения 28 дней
				3 дней	7 дней	28 дней	3 месяца			
1:0,5:0,2	1120	4,7	0,41	2,1	3,6	4,5	5,8	4,2	4,9	4,0
1:0,75:1,75	1250	6,3	0,50	2,8	5,75	5,6	6,2	5,2	6,1	4,75
1:1:2	1280	5,3	0,49	2,4	5,1	5,9	6,8	4,8	5,8	5,6
1:1,5:2	1320	6,8	0,51	2,9	5,7	6,0	6,4	5,2	5,2	4,9

Статический модуль упругости растворов равен 4,6–4,9  $10^3$  МПа, что в среднем на 15 % меньше динамического. Это несколько ниже, чем у керамзитобетона (5,0–7,0 ·  $10^3$  МПа).

### Морозостойкость

Морозостойкость определялась лишь для раствора состава 1:1,5:2, рекомендованного после проведения заводских испытаний для использования в полах неотапливаемых помещений и стеновых камнях. Образцы указанного выше состава выдержали 25 циклов испытаний (табл. 1.5) и отвечают требованиям, предъявляемым к стеновым камням М-50.

Таблица 1.5

**Характеристика образцов вермикулитопесчаного раствора, подвергнутых испытаниям на морозостойкость, в зависимости от условий и продолжительности твердения**

Состав по массе (цемент : песок : вермикулит)	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Водопоглощение, % по массе	Предел прочности при сжатии водонасыщенных образцов, МПа	Характеристики после испытаний			Марка на морозостойкость, F
				Потери в массе, %	Предел прочности при сжатии, МПа	Коэффициент морозостойкости	
1:1,5:2	1320	18,9	6,0	– 0,8	5,2	0,87	15
	1335	18,6	5,8	– 0,5	4,6	0,80	25

Достаточная морозостойкость объясняется наличием свободных сообщающихся пор в материале, обусловленных содержанием вермикулита. Кроме того, зерна вермикулита, обладающие малой механической прочностью, легко деформируются, воспринимая часть напряжений при замерзании воды, и способствуют сохранению целостности цементного камня.

### ***Производственные опыты по изготовлению конструктивно-теплоизоляционных материалов и их применению в производстве «теплых» стяжек полов***

По результатам испытаний составы вермикулитопесчаного раствора 1:1,5:2 и 1:0,75:1,75 (портландцемент : песок : вермикулит по объему), В/Ц = 0,75–12,8 с добавкой ПАВ – ЦНИПС-1 0,1 % от массы портландцемента были опробованы в производственных условиях и внедрены на объектах «Ленотделстроя» в качестве «теплых» стяжек полов.

Вермикулитопесчаные растворы имели необходимую прочность, среднюю плотность, показатели теплопроводности и теплоусвоения, отвечающие требованиям СНиП [104, 107].

Стяжки полов из вермикулитопесчаных растворных смесей легко заглаживаются, не требуют выравнивания поверхности шлифованием или с помощью шпатлевок. Трудозатраты на устройство таких стяжек на 25 % ниже, чем при использовании керамзитобетона [9].

В процессе производства работ было отмечено, что вермикулитопесчаные растворные смеси при подвижности 8–10 см (осадка конуса СтройЦНИЛ) транспортируются растворонасосами на большие расстояния (до 50 м). При использовании смеси повышенной подвижности происходило их расслоение. Это связано со значительным внутренним трением чешуйчатых зерен вспученного вермикулита, а развитая открытая пористость его требует значительного расхода цементного теста.

С целью получения легких растворов для стяжек полов с лучшими технико-экономическими показателями (повышенной подвижностью, меньшим расходом вяжущего) были подобраны составы (неаэрированные) с применением вспученного перлита как альтернатива вермикулиту (табл. 1.6). При этом учитывалось, что стоимость 1 м<sup>3</sup> вспученного перлита на ~30 % ниже, чем вспученного вермикулита, при их одинаковой средней плотности ( $\rho_{\text{н}} = 100\text{--}150 \text{ кг/м}^3$ ).

### ***Подбор составов аэрированных легких растворов для стяжек полов***

Поризация цементной матрицы с помощью ПАВ в аэросмесителях весьма эффективна при использовании малопрочных и пористых зерен вспученных заполнителей. Формирование мелкопористой структуры аэрированных растворов обуславливается приготовлением их в специальных аэросмесителях

Таблица 1.6

Рекомендуемые составы перлитопесчаных «теплых» растворов для устройства полов

Расход материалов на 1 м <sup>3</sup> раствора		ПВ, % от массы вяжущего	Погружение конуса СтройЦНИЛ, см	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности при сжатии через 28 суток, МПа	Теплопроводность, Вт/м · К	ККК	
Портландцемент, кг	Зола-унос ТЭЦ, кг							Природный песок, кг
310	-	650	270	74	0,2	1150	6,0	0,52
350	-	590	320	74	<	1050	7,0	0,67
300	170	505	380	96	<	1100	7,5	0,68
250	150	575	212	75	<	1100	7,0	0,64

(см. рис. 1.4, 1.5), имеющих высокие скорости перемешивания (740–1000 об/мин), и введением высокоактивной воздухововлекающей добавки. При этом достигается равномерное вовлечение воздуха и распределение всех компонентов. В результате того, что перемешивание сопровождается завихрениями, создаваемыми двумя системами лопаток, в суспензии возникает большое количество частиц коллоидной величины, которые совместно с пузырьками воздуха пластифицируют смесь.

Поскольку вспученные вермикулит и перлит являются малопрочными заполнителями, на свойства растворов заметное влияние оказывают способ и продолжительность перемешивания смеси. Перемешивание растворных смесей со вспученным заполнителем в течение 1–2 мин является оптимальным. При большей продолжительности перемешивания происходит возрастание средней плотности растворов вследствие измельчения зерен вермикулита и перлита.

Меняя соотношения между компонентами вяжущего (цемент: зола) и заполнителя (песок : вспученный заполнитель), можно получить растворы с широким диапазоном свойств. С уменьшением соотношения вяжущее : заполнитель при одной и той же средней плотности раствора механические характеристики снижаются. Так, для растворов предел прочности при сжатии в 28-дневном возрасте составляет 4,0–6,5 МПа для составов : вяжущее : песок : вспученный заполнитель (1–0,6) : (1,5–2,0) : (0,25–0,35) – по массе и со средней плотностью 1200–1250 кг/м<sup>3</sup>.

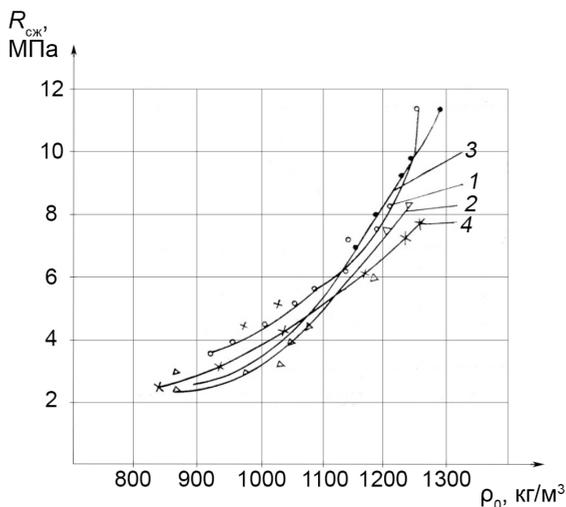


Рис. 1.11. Взаимосвязь прочности ( $R_{сж}$ ) и средней плотности ( $\rho_0$ ) аэрированных растворов среднего твердения: 1 – перлитопесчаные; 2 – вермикулитопесчаные; 3 – золоперлитопесчаные; 4 – золовермикулитопесчаные

На рис. 1.11 показано влияние средней плотности аэрированных растворов на прочность. Так, введение золы практически не снижает прочность раствора, а оказывается весьма полезным не только для повышения подвижности бетонов, но и для увеличения выхода цементного теста. При этом прочность перлитопесчаных аэрированных растворов выше по сравнению с вермикулитопесчаными, причем этот разрыв больше при средней плотности выше  $1150 \text{ кг/м}^3$ .

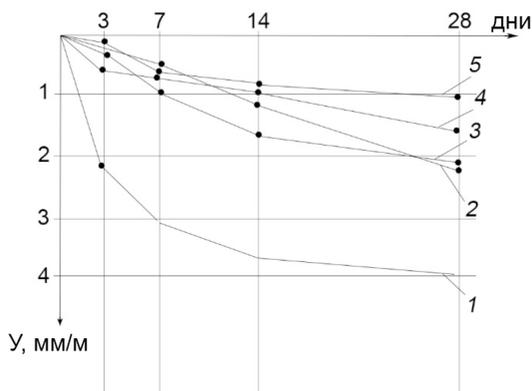


Рис. 1.12. Зависимость усадки аэрированных растворов (У) от времени твердения:  
 1 – цементозольный; 2 – цементозолопесчаный; 3 – вермикулитопесчаный;  
 4 – перлитопесчаный; 5 – золоперлитопесчаный

Наблюдения за образцами, хранившимися на воздухе в изометрической камере в течение трех месяцев, показали, что усадочные деформации наиболее интенсивно развиваются в первые 7–14 дней и практически стабилизируются через 90 суток (рис. 1.12). Введение в состав аэрированных растворов природного песка и вспученных заполнителей оказывает положительное влияние, так как усадка заметно снижается (в три раза по сравнению с беспесчаными). Это объясняется армирующим действием песка, создающего жесткий каменный скелет. Частицы вермикулита и перлита, хотя и в меньшей степени, также снижают деформации усадки, являясь «отошающей» добавкой.

Так как эти составы требуют меньшего расхода цемента по сравнению с цементозольными, то доля целевой составляющей цемента в растворе сокращается, что также способствует снижению деформаций при твердении.

Изучение поровой структуры методом микроскопии показало (рис. 1.13), что средний диаметр пор при примерно одинаковой общей пористости у пенобетона примерно вдвое больше, чем у аэрированных растворов. Величина размаха варьирования и стандартного отклонения показывают, что структура аэри-

рованных растворов отличается меньшими порами, чем у обычного пенобетона, что улучшает теплотехнические свойства полов.

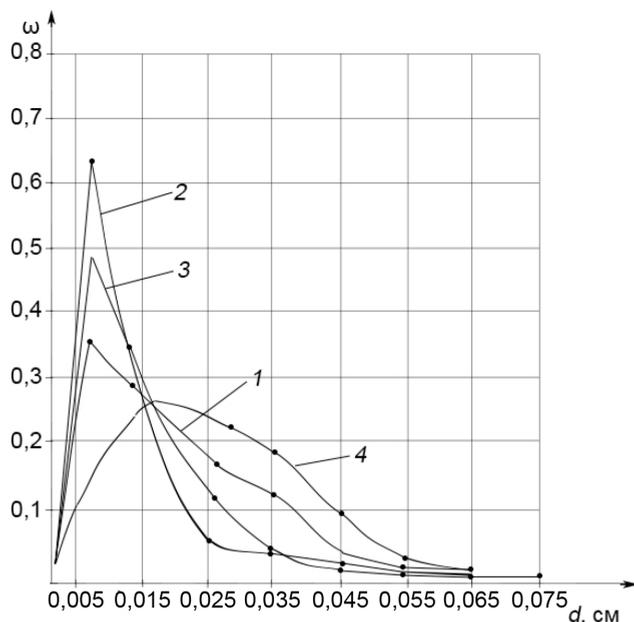


Рис. 1.13. Размах варьирования ( $\omega$ ) и распределение пор по диаметрам ( $d$ ):  
 1 – аэрированный цементозолопесчаный; 2 – аэрированный вермикулитопесчаный;  
 3 – аэрированный перлитопесчаный; 4 – пенобетон

Результаты исследований показали, что аэрированные растворы имеют сорбционную влажность до 6 % (при относительной влажности воздуха 50–60 %). При пребывании растворов на воздухе имеет место довольно интенсивная (в первые семь суток) влагоотдача, поэтому в построечных условиях необходимо создавать благоприятные условия твердения для растворов, особенно в первые сутки после их приготовления.

Зависимости прочности раствора при сжатии и плотности аэрированных растворов от расхода воды приведены в табл. 1.7. При одной и той же средней плотности растворы с использованием вспученного перлита прочнее на 20–50 %, чем вермикулитосодержащие. Это связано со сферической формой зерен перлита и характером его пористости. Влияние В/В отношения на прочность аэрированных перлитовермикулитовых растворов представлено на рис. 1.14. У перлитовых растворов при В/В менее 0,5, у вермикулитовых при В/В менее 0,68 прочность незначительна из-за рыхлости, недостаточной связанно-

1.1. Аэрированные и поризованные легкие вермикулито-перлитопесчаные растворы...

сти составляющих. С увеличением В/В благодаря равномерному распределению компонентов и внутреннему вакуумированию, определяемому наличием пористых заполнителей, прочность возрастает. Повышение средней плотности при возрастании В/В вызвано переуплотнением смеси и снижением эффекта воздухововлечения.

Таблица 1.7

**Состав и свойства аэрированных растворов, рекомендуемых для устройства «теплых» стяжек полов (вермикулит вспученный – фр. 0–5 мм, перлит – фр. 0–2,5 мм, ОП-7 – 0,2 % от массы вяжущего)**

Вяжущее : песок : вспученный заполнитель (по массе)	Расход воды, л	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности при	
			сжатии, МПа	изгибе, МПа
(1–1,5):0:0	195	1270	9,0	3,2
1:1,8:0,14*	290	1100	5,2	2,5
1:2,5:0,2	240	1200	6,8	3,0
1:1,8:0,14*	320	1200	7,5	2,7
(1–1,5):2,5:0	200	1470	8,8	2,8
(1–0,6):2,2:0,35*	320	1200	5,7	2,4
(1–0,6):2,2:0,35	300	1150	6,5	2,0
(1–0,65):1,5:0,2	320	1000	5,5	1,8
(1–0,7):2,5:0,2	280	1350	6,3	2,8
(1–0,7):2,5:0,17	260	1300	7,6	2,3
(1–0,56):1,9:0,2	310	1320	8,0	4,0

\* Растворы с использованием вермикулита, в скобках – смешанные вяжущие (ПЦ + зола).

Характерной особенностью аэрированных смесей является их высокая подвижность, которая в оптимальном случае составляет 11–14 см (по погружению конуса СтройЦНИЛ). Для сравнения: керамзитобетонные смеси имеют подвижность, редко превышающую 5–7 см, и не могут транспортироваться растворами насосами.

Проведенные исследования позволили выделить одну из практических областей применения аэрированных растворов – устройство «теплых» оснований под покрытие линолеумом или синтетической плиткой, паркетом. Такие основания полов просты в изготовлении, поверхность стяжек легко заглаживается (например, металлическим правилом), не требуется выравнивания поверхности «холодным» цементно-песчаным раствором, мастикой или шлифования

под синтетическое покрытие, что неизбежно при применении любых других видов пористых заполнителей. Этот материал не гниет, не горит, нетоксичен.

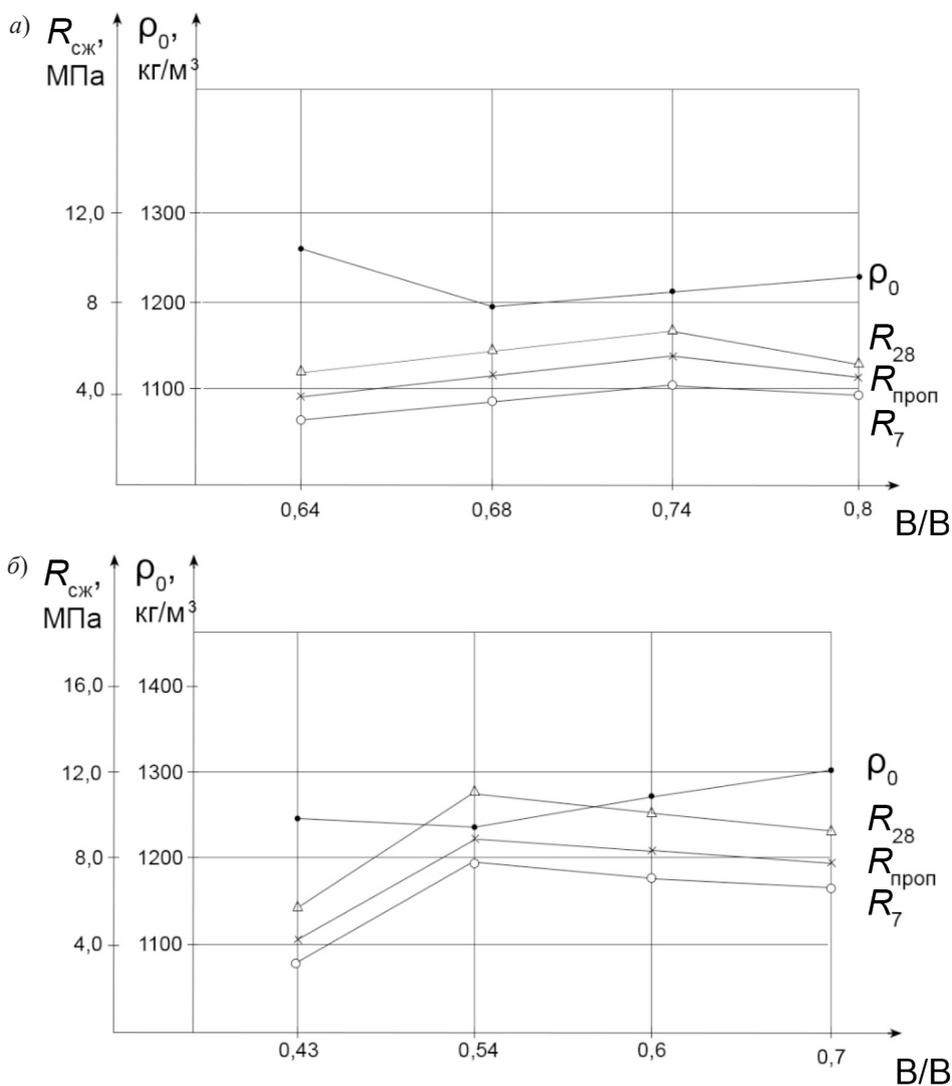


Рис. 1.14. Зависимость прочности и средней плотности аэрированных вермикулитового (а) и перлитового (б) растворов от V/B

Стяжка имеет низкое теплоусвоение, коэффициент тепловой активности аэрированных растворов равен 9,29–11,56 Вт/м<sup>2</sup>·К, то есть такое основание пола относится к «теплым» [9, 56].

1.1. Аэрированные и поризованные легкие вермикулито-перлитопесчаные растворы...

Технические свойства аэрированных растворов (в сравнении с керамзитобетоном) представлены в табл. 1.8 и свидетельствуют, что перлито-, вермикулито-песчаные аэрированные растворы по своим свойствам отвечают требованиям СНиП 11-В-8–81 «Полы. Нормы проектирования» [107]. Кроме того, вспученный вермикулит и перлит имеют меньший, чем керамзит, модуль упругости и, следовательно, будут обеспечивать лучшую изоляцию от ударного шума.

Таблица 1.8

**Технические свойства материалов «теплых» оснований полов**

Вид бетона	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности		Теплопроводность, Вт/м · К	Коэффициент теплоусвоения, Вт/м <sup>2</sup> · К
		$R_{сж}$ , МПа	$R_{из}$ , МПа		
Аэрированный перлитопесчаный раствор	1200	8,0	1,5	0,28	5,13
Аэрированный вермикулито-песчаный раствор	1150	6,0	2,3	0,27	4,95
Керамзитобетон	1150–1200	5,0–7,5	1,3–2,0	0,3–0,32	5,6–5,8

Таблица 1.9

**Зависимость теплопроводности аэрированных легких растворов от их средней плотности**

Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	800	900	1000	1100	1200	1300
Теплопроводность, Вт/м · К	0,16–0,18	0,17–0,19	0,18–0,21	0,20–0,23	0,23–0,28	0,30–0,34

Теплопроводность аэрированных растворов ниже, чем керамзитобетона равной плотности, на 10–15 %, что объясняется мелкозернистым строением цементной матрицы и наличием особо легких заполнителей (табл. 1.9).

В табл. 1.10 приведены теплотехнические характеристики полов.

Таблица 1.10

## Расчетные теплотехнические характеристики материалов полов

Наименование материала пола по слоям	Толщина слоя, мм	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Теплопроводность, Вт/м · К	Удельная теплоемкость, Дж/кг · К	Коэффициент теплоусвоения, Вт/м <sup>2</sup> · К	Показатель теплоусвоения, Вт/м <sup>2</sup> · К
1 – плитки ПВХ 2 – вермикулитопесчаная стяжка	3	1600	0,28	0,35	6,4	10,0
	40	1200	0,32	0,20	4,75	
1 – линолеум 2 – вермикулитопесчаная стяжка	2,5	1350	0,20	0,35	5,0	9,6
	40	1250	0,34	0,20	4,75	
1 – линолеум 2 – вермикулитопесчаная стяжка	3	1100	0,16	0,35	4,0	9,3
	40	1250	0,34	0,2	4,75	
1 – плитки ПВХ 2 – цементная стяжка	3	1600	0,28	0,35	6,4	14,9
	35	2100	0,65	0,20	7,8	
1 – линолеум 2 – цементная стяжка	2,5	1350	0,20	0,35	5,0	14,1

Данные табл. 1.10 свидетельствуют о том, что полы с полимерным покрытием и с основанием из вермикулитопесчаного раствора с  $\rho_0 \leq 1250 \text{ кг/м}^3$  отвечают требованиям, предъявляемым к полам 1-й группы, то есть для жилых домов, больниц [107] (показатель теплоусвоения –  $\bar{S}_{\text{усв}} < 10 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ ) («холодные» цементопесчаные стяжки этим требованиям не отвечают). Теплотехнический расчет «теплых» стяжек полов из аэрированных перлито- и вермикулитопесчаных растворов сделан нами по методике СНИП Гиндояна [25], а также разработкам фирмы КНАУФ [46].

### ***Натурные испытания полов***

На рис. 1.15 приведены конструкции полов с применением АЛР-смесей, прошедших апробацию в построечных условиях.

В первые семеро суток твердения влаготдача АЛР интенсивна, поэтому в построечных условиях необходимо создавать благоприятные условия твердения стяжки из АЛР-смеси, особенно в первые сутки после ее приготовления.

Устройство покрытия пола из линолеума или плиток ПВХ на «теплом» основании производится не ранее чем через семь дней после укладки растворной смеси. Влажность стяжки к этому времени не должна превышать 8 %.

В случае применения звукоизоляционных и теплоизоляционных прослоек при устройстве пола по перекрытию над холодным подпольем или проездом вспученный вермикулит предварительно засыпается в мешки-маты из полиэтиленовой пленки [3]. Это обеспечивает необходимую паро- и гидроизоляцию утеплителя в конструкции и исключает пыление при устройстве и эксплуатации пола.

Если перекрытие находится над неотапливаемым подпольем или проездом, необходимо устройство тепловой изоляции, толщина которой определяется теплотехническим расчетом. Значения расчетных сопротивлений теплопередаче перекрытий и полов с использованием вспученного вермикулита приведены в табл. 1.11.

При толщине мата с вермикулитовой засыпкой 100 мм  $R_0^{\text{расч}} = 2,78 > 2,62 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$ . Если в качестве утеплителя использовать теплоизоляционные штучные изделия на основе вермикулита, толщина слоя изоляции увеличивается до 130 мм. Это также обеспечивает сопротивление теплопередаче выше требуемого. Таким образом, рекомендуемые конструкции полов с использованием вспученного вермикулита по расчетным теплотехническим показателям отвечают нормативным требованиям (СНиП II 3.79 «Строительная теплотехника», СНиП 2.03.13–88 «Полы. Нормы проектирования»).

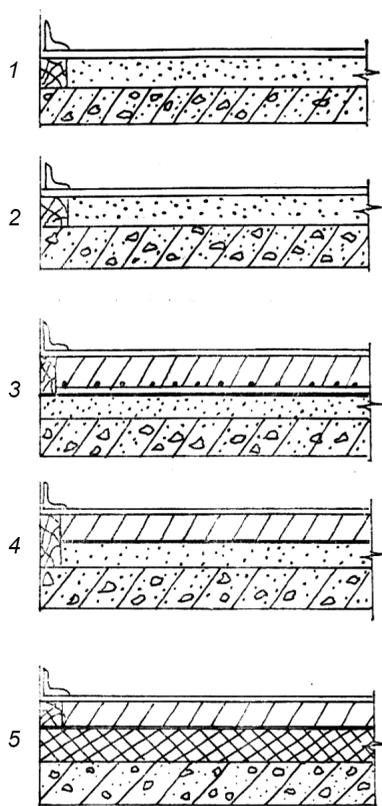


Рис. 1.15. Конструкции полов с использованием легких аэрированных растворов: 1 – линолеум (плитка ПВХ), аэрированный перлитовый или вермикулитопесчаный раствор, железобетонное перекрытие; 2 – линолеум (плитка ПВХ), аэрированный перлитовый или вермикулитозолопесчаный раствор, железобетонное перекрытие; 3 – линолеум, аэрированный раствор, гидроизоляция, прослойка из сухого песка, железобетонное перекрытие; 4 – линолеум, аэрированный раствор, гидроизоляция, прослойка из сухого песка, железобетонное перекрытие; 5 – линолеум, аэрированный раствор, гидроизоляция, теплоизоляция (по теплотехническому расчету), железобетонное перекрытие

С целью повышения индустриализации производства полов с покрытием из синтетических материалов (линолеум, плитка ПВХ), улучшения их качества и исключения «мокрых» процессов при производстве работ по нашим рекомендациям на ДСК-1 (Ленинград) изготовлены панели перекрытий с тепло- и звукоизоляционным основанием на основе вспученного вермикулита.

У панели второго типа предусматривалось устройство только «теплой» стяжки без звукоизолирующей прослойки. Стяжка укладывалась непосредственно по свежееотформованной плите перекрытия.

Таблица 1.11

**Расчетные сопротивления теплопередаче перекрытий и полов  
с использованием вспученного вермикулита**

Наименование материалов по слоям	Толщина слоя, мм	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Теплопроводность, Вт/м · К	Сопротивление теплопередаче, м <sup>2</sup> · К / Вт
1 – паркет	16	800	0,20	2,78
2 – деревянный настил	24	800	0,20	
3 – вспученный вермикулит (мат)	100	150	0,08	
4 – железобетонное перекрытие	120	2500	1,40	
1 – плитки ПВХ	3	1600	0,28	2,71
2 – вермикулитопесчаная стяжка	40	1250	0,35	
3 – плиты теплоизоляционные из вермикулитового раствора	130	400	0,11	
4 – железобетонное перекрытие	120	2500	1,40	

После изготовления панели выдерживались на воздухе 4–6 часов, пропаривались по режиму (2 + 6 + 4) часа, распалубливались и отправлялись на склад готовой продукции, где хранились под навесом на открытом воздухе.

Испытания контрольных образцов показали, что прочность стяжки при сжатии – 6,5 МПа, средняя плотность – 1200 кг/м<sup>3</sup>. Максимальный просвет между рейкой-шаблоном и поверхностью стяжки не превышал 2–3 мм.

Панели, предназначенные для натуральных испытаний, были установлены в жилом доме серии ЛГ-502.

По материалам заводских испытаний составлен проект «Указания по изготовлению и применению комплексных панелей с тепло- и звукоизоляционным вермикулитосодержащим основанием пола под покрытие пластиком». Внедрение результатов исследований автора осуществлялось на объектах треста «Ленотделстрой».

«Теплые» основания полов из аэрированных легких растворов нашли применение на объектах трестов «Главзапстрой», «Главленинградстрой» 35, 39, 68, «Ленстройкомплект» (Санкт-Петербург), «Нефтегазпромстрой» (Москва), «Мелиоводстрой» (Новосибирск), «Актюбнефтегазстрой» (г. Актобе). Ежегодный объем производства стяжек полов из легких растворов с применением только вспученного перлита составил 50 000 м<sup>2</sup> в год по Санкт-Петербургу.

Имеется опыт использования готовой цементно-песчаной растворной смеси при приготовлении АЛР-смеси. В этом случае в построечных условиях эта смесь в аэросмесителе поризуется необходимым количеством вермикулита с добавлением ПАВ и воды, что обеспечивает требуемую среднюю плотность АЛР.

Экспериментальные панели с тепло- и звукоизоляционным вермикулитосодержащим основанием пола с покрытием плиткой ПВХ были смонтированы в жилом доме серии ЛГ-502 по адресу: Ленинград, Веселый Поселок, ул. Антонова-Овсеенко, д. 19, корпус 4, кв. 118 и 119, и подверглись натурным испытаниям (рис. 1.16).

По результатам испытаний для каждой частоты колебаний звука подсчитывались отклонения расчетных кривых от нормативных. При определении нормативного показателя  $E_y$  (целое число децибел, на которое смещена нормативная кривая) отклонения считаются положительными, если они лежат ниже нормативной кривой. Положительные значения  $E_y$  свидетельствуют о высокой звукоизолирующей способности ограждения от ударного шума.

Испытания показали, что полы, выполненные с использованием вспученного вермикулита, отличаются высокой звукоизоляционной способностью. Все испытываемые конструкции отвечают нормативным требованиям [111, 113, 118].

При устройстве вермикулитопесчаной стяжки по слою вермикулита полы имеют показатели звукоизоляции от ударного шума значительно выше нормативных для всех групп полов.

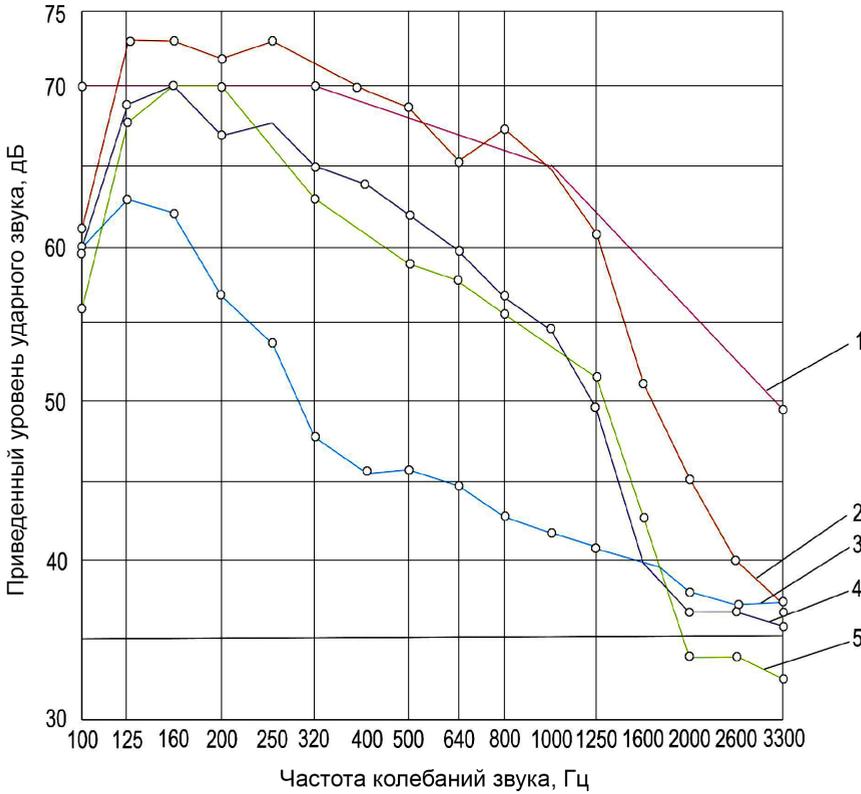


Рис. 1.16. Экспериментальные частотные характеристики от ударного шума перекрытия с полами экспериментальных конструкций (нумерация в соответствии с рис. 1.15)

Вспученный вермикулит в конструкциях «плавающего» пола выполняет роль упругой демпфирующей прокладки. Включение вермикулита в многослойную конструкцию перекрытия приводит к снижению частоты собственных колебаний конструкции. Относительно высокие показатели  $E_y$  у полов без прослойки вермикулита, по-видимому, объясняются свойствами стяжки, выполненной из вермикулитопесчаного раствора, имеющего небольшой динамический модуль упругости.

Изоляционная способность от воздушного шума может быть повышена за счет увеличения массы несущей части перекрытия или использования в ка-

честве прослойки засыпки из сухого песка. Результаты испытаний стяжек из вермикулитопесчаных растворов оптимальных составов на продавливаемость (просадку) показали, что средняя величина просадки у оптимальных составов колеблется в пределах 0,6–0,9 мм, по нормам эта величина должна быть не более 1 мм [118].

Следует отметить, что у пола, выполненного в построчных условиях, звукоизоляционные качества при динамических воздействиях выше, чем у сборной конструкции, поскольку в последней имеются звукопроводящие анкеры-петли.

Разработанная технология изготовления теплоизоляционно-конструктивных аэрированных растворов была проверена при выполнении «теплых» стяжек-оснований полов в производственных условиях на стройплощадках трестов 16, 35 и 39 «Главзапстроя» [93, 100, 132].

Изготовление «теплых» оснований полов из аэрированных растворов включает следующие технологические операции: приготовление растворных смесей в турбулентных аэросмесителях, их транспортировку на место производства работ, укладку на основание пола.

Трудозатраты по сравнению с устройством керамзитобетонных стяжек снизились на 148 чел./дней на 1000 м<sup>2</sup> стяжки. В системе «Главленинградстроя» по результатам этих работ выпущены ведомственные строительные нормы ВСН 137-80 «Указания по устройству полов с теплозвукоизоляцией на основе вспученного вермикулита и с покрытием из пластика [130].

В тресте «Каббалжилстрой», г. Нальчик, по результатам наших исследований были внедрены поризованные легкие перлитопесчаные растворы для устройства «теплых» стяжек полов. Разработано «Руководство по устройству полов с применением „теплых“ перлитопесчаных растворов» (Нальчик: Минжилгражданстрой, 1980).

Полы с использованием вспученного вермикулита и перлита успешно применяли на строительстве таких сооружений, как Дворец спорта «Юбилейный», Объединенная больница в г. Сестрорецке, здание Всесоюзного алюминиево-магниевого института, учебные корпуса ЛИСИ, профилакторий «Главленинградстроя» в пос. Стрельна, ВПУ в Сосновой Поляне.

Аэрированные легкие растворы со вспученным вермикулитом и перлитом успешно применялись в полах при строительстве Торгового банка (станция метро «Ладожская»), Национальной публичной библиотеки (станция метро «Парк Победы») в Санкт-Петербурге, административных корпусов Ижорского завода, Слюдяной фабрики, жилых домов в г. Пушкине и других объектов.

## **1.2. Легкие сухие строительные смеси на гипсовых вяжущих с использованием вспученного вермикулита и перлита**

### *Общие положения*

Начиная с 90-х гг. XX в. сухие строительные смеси стали активно заполнять пустующую доселе нишу строительного рынка. Все предыдущие годы отечественным строителям приходилось довольствоваться готовыми цементными растворами, производимыми на бетоносмесительных узлах и бетонных заводах. Использование готовых растворов не всегда удобно, да и не всегда применимо.

Замешивание небольшого количества сухой смеси на объекте подходит практически для любого вида строительных работ. Строители и отделочники довольно быстро «распробовали» готовые сухие смеси, и спрос на них начал расти как на дрожжах [13, 51, 60, 91, 92].

До 1998 г. основную часть составляла импортная продукция, а начиная с 1999 г. поставки сухих строительных смесей по импорту сократились в несколько раз, так как за последнее десятилетие число отечественных производителей ССС выросло с 10–15 до 230. Особенно за последние три года. Запущены новые мощности, прочно завоевавшие рынок: фирмы «КНАУФ», «МАКСИТ», «Атлас», «Хенкель», «Ремерс»; вводятся мощности европейской фирмы «Сэн Гобен Вебер» и концерна «Мапеи». Ассортимент производимых смесей не может не радовать.

Темпы объемов выпуска за 2000–2004 гг. возрастали в среднем на 50 % в год. В дальнейшем наблюдался некоторый спад темпов прироста выпуска ССС, одновременно возрастало число производителей (рис. 1.17).

В России имеется достаточно богатый опыт исследования тепло- и огнезащитных растворов такими учеными, как И. У. Аубакирова [9], П. П. Гедеев [29], Ю. П. Горлов [27], А. П. Пожнин [38, 79], И. Г. Романенков, М. Ф. Сухарев [104], Ю. М. Тихонов [119,120], Н. С. Панарин [76] и др. Ими разрабатывались композиции на основе жидкого стекла, пуццоланового портландцемента, глиноземистого цемента, фосфатных связующих, органосиликатных композиций. В качестве наполнителей огнестойких растворов применялись вспученный и не-вспученный вермикулит и перлит, полое стеклянное волокно, кремнезем. В качестве микронаполнителей – тонкомолотый керамзит, перлит, шамот, бой диатомитового кирпича, зола-унос ТЭЦ.

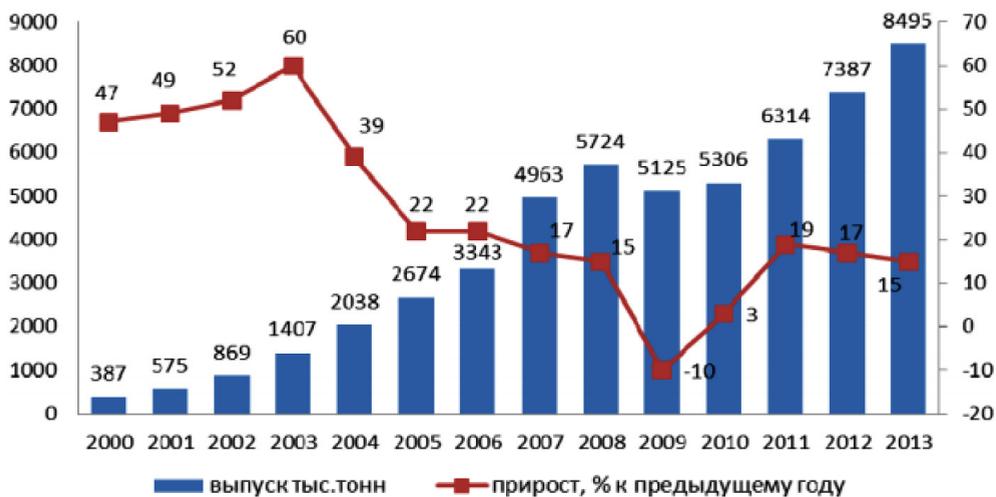


Рис. 1.17. Диаграмма роста производства сухих строительных смесей в Российской Федерации

Однако в XX в. в СССР выпуск ССС на основе вышеупомянутых материалов начался в 1986 г. с открытия первого завода сухих строительных смесей, работающего по немецкой технологии. Характерная особенность того времени, кроме вяжущих (портландцемента, строительного гипса) и заполнителей, – дорогостоящие химические добавки (табл. 1.12) и то, что остальные составляющие привозились из Германии. В результате стоимость, например, штукатурных растворов возросла в шесть и более раз.

В 2004 г. Э. Л. Большаковым впервые был разработан отечественный ГОСТ 31189–2004 «Смеси сухие строительные. Классификация», согласно которому все сухие смеси были разделены в соответствии со назначением. Толчком для массового производства отечественных ССС послужил ГОСТ 1.13–2004 «Стандартизация в Российской Федерации» (это первый документ из комплекта нормативных актов, разработка которых ведется отечественными исследователями с учетом гармонизации российских и международных стандартов развитых зарубежных стран), а также уведомления о проектах документации в области стандартизации общих требований.

Гост 31357–2007 «Смеси сухие строительные на цементном вяжущем. Общие технические условия» был разработан И. У. Аубакировой (СПбГАСУ) при участии фирмы «МАКСИТ» компании «ВакорХемиРус» (Технический центр АНО «СтандартИнжИвест»).

В 2010 г. профессором Ю. Г. Мещеряковым, профессором Ю. М. Тихоновым было разработано «Учебное пособие по испытаниям штукатурных СС производства фирмы „КнауфГипсКолпино“» для студенческих лабораторных работ. Именно в это время тысячи студентов СПбГАСУ впервые ознакомились с ССС «Ротбанд», «Гольдбанд», методами их испытаний и техническими свойствами.

Существует нормативная база по методам испытаний гипсовых вяжущих и технические условия, представленные в межгосударственных стандартах ГОСТ 31357–2007 «Смеси сухие строительные на цементном вяжущем» [73], ГОСТ 31376–2008 «Смеси сухие строительные на гипсовом вяжущем. Методы испытаний» [74] и ГОСТ 31377–2008 «Смесь сухая штукатурная на гипсовом вяжущем. Технические условия» [75]. Стандарты разработаны сотрудниками СПбГАСУ (И. У. Аубакирова, Ю. М. Панибратов, Ю. Г. Мещеряков, Ю. М. Тихонов) и фирмой «КНАУФ-сервис» (1 июля 2010 г.).

Классификация наиболее распространенных сухих модифицированных смесей представлена на рис. 1.18.

Компоненты для производства сухих строительных смесей различны, начиная от высококачественного минерального сырья и заканчивая отходами различных производств (табл. 1.12) [63].

Таблица 1.12

**Материалы для приготовления сухих строительных смесей**

Вяжущие	Наполнители и заполнители	Химические добавки
Разновидности портландцемента, гипсовое вяжущее, ангидрит, известь, глиноземистый цемент, диспергируемые полимерные порошки	Кварцевый песок, известняк, мел, доломит, перлит, каолин, микрокремнезем, волокна (фибра), пигменты, легкие заполнители (керамзит, вспученные вермикулит и перлит, пемза и т. д.), отходы различных производств (шламы, шлаки, отсеvy, золы и т. д.)	Пластификаторы, водоудерживающие, диспергируемые и редиспергируемые полимерные порошки, замедлители, ускорители, загустители, порообразующие и антивспенивающие, гидрофобизаторы

Номенклатура вяжущих веществ для ССС обширна. Правильный выбор и оптимальное содержание данного компонента в составе определяют качественные характеристики и условия использования смесей.

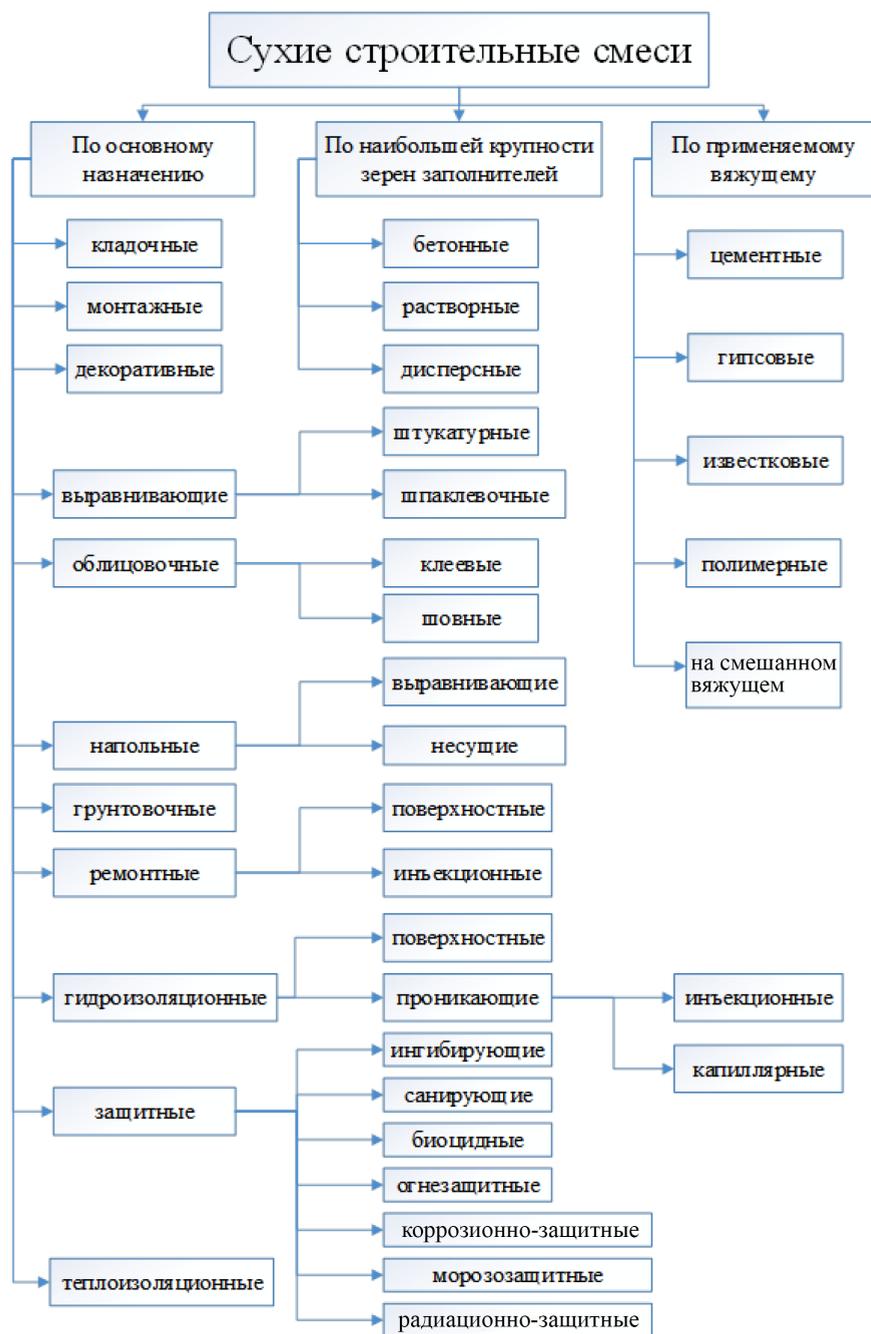


Рис. 1.18. Классификация сухих строительных смесей

Обширное использование в производстве сухих строительных смесей нашел портландцемент различных марок и его разновидности: белый и цветной, шлакопортландцемент, пуццолановый портландцемент, сульфатостойкий, гидрофобный и пластифицированный, быстротвердеющий. Также применяется вяжущее (цемент) низкой водопотребности, представляющее собой тонкомолотые клинкерные цементы, характеризующиеся значительно более высокой прочностью и иными улучшенными свойствами.

Наибольшей известностью пользуются смеси на основе гипсового вяжущего.

Благодаря быстрому набору прочности они очень удобны и целесообразны для комплексной отделки. Все более используют водостойкие гипсовые вяжущие, которые отвечают требованиям соответствующих ТУ, которые применяются в смесях для отделки внутренних помещений с повышенной влажностью.

Заполнители в сухих строительных смесях используют с крупностью зерен 0,16–5,0 мм, то есть строительные пески и в некоторых случаях мелкий щебень крупностью до 15 мм. Строительный песок для сухих смесей должен быть сухой, чистый и иметь наилучший зерновой состав в соответствии с назначением изготавливаемой сухой смеси.

Наполнители вводятся в сухие смеси с целью снижения расхода вяжущего и получения наиболее плотного раствора и для повышения водоудерживающей способности. В качестве порошкообразующих наполнителей применяют активные минеральные добавки природного происхождения, а также золу-унос, молотый известняк, мел, кремнезем, шлаки, кирпичную крошку и др.

Изучение литературных данных, связанных с применением волокнистого наполнителя (фибры), и опыт экспериментальных данных показывают, что наиболее пригодными для цели перемешивания материала являются конструкции смесителей с быстро вращающимся вертикальным валом. Значительный опыт в области приготовления смесей, наполненных неметаллическими волокнами, накоплен в различных технологиях. Исследование эффективности различных способов смешивания суспензий с цементом показали, что наиболее энергично этот процесс протекает в турбосмесителе со скоростью вращения вала 800 об/мин. Смесители подобного типа находят применение и в технологии обычных бетонов. При этом известно, что использование высокоскоростных смесителей приводит к активации цементного теста. Слабая адгезия волокон друг к другу в составе комплексной нити позволяет объединить процессы их распушки и смешивания с остальными составляющими бетонной смеси в единый цикл [89]. Распушка волокон в смесителе данной конструкции обусловлена вихреобразным состоянием материала в турбулентном потоке с не-

прерывным изменением скорости и направления движения частиц. Если в какой-то момент усилия, действующие со стороны потока на волокно, направлены в определенную сторону, то в следующий момент это направление может измениться на противоположное. В результате происходит разделение на элементарные волокна, то есть распушка.

Если в растворе недостает частиц наполнителя крупностью от 30 до 100 мкм, то цементный гель создает не только кристаллические, но и аморфные образования, несравнимые по прочности с цементным камнем. Наибольшей активностью в цементе обладают зерна крупностью до 30 мкм, которые и образуют основную часть кристаллов из цементного геля. Поэтому не рекомендуется вводить в растворные смеси инертные наполнители крупностью менее 30 мкм, тогда как введение наполнителей крупностью от 30 до 100 мкм является результативным.

Использование модифицирующих добавок в составах сухих строительных растворных смесей позволяет изменять в широких пределах технологические свойства растворных смесей и строительно-технические свойства растворов, открывает возможность широкого применения тонкослойных технологий и технологий машинного нанесения, дает возможность изменять в широких пределах технологические свойства растворов. Перечень добавок на сегодня велик, к ним относятся: поверхностно-активные вещества (ПАВ), водорастворимые полимеры, водные дисперсии полимеров, добавки-электролиты и др.

Применение гипсовых вяжущих в ряде случаев ограничивается из-за их недостаточной водостойкости, которая сопровождается такими негативными явлениями, как увеличение ползучести в гипсовых бетонах и значительное снижение прочности изделий при их увлажнении. Поэтому гипсовые изделия в конструкциях, подвергающихся увлажнению, не применяются. На данный момент предложено большое количество разных методов повышения водостойкости гипсовых изделий. Они основаны на уменьшении растворимости гипса, уплотнении гипсовой (гипсобетонной) массы, пропитке веществами, которые препятствуют прониканию влаги в изделие, на применении наружной защитной обмазки.

Смешанное вяжущее называется гипсоцементно-пуццолановым (ГЦПВ), оно было предложено А. В. Волженским и под его руководством разработано в МИСИ им. Куйбышева (в настоящее время – МГСУ) Р. В. Иванниковой, В. И. Стамбулко, А. В. Ферронской и во ВНИИНСМ АСИА СССР Г. С. Коганом, Ю. С. Цукановым, В. П. Щегловой [24, 132]. Также была разработана технология его производства и применения в различных изделиях и конструкциях. Одним из наиболее эффективных и экономически целесообразных способов повышения водостойкости изделий из гипсовых вяжущих является введение в них порт-

ландцемента или молотого гранулированного доменного шлака совместно с активными гидравлическими добавками.

Как известно, смеси гипсовых вяжущих веществ с портландцементом при твердении характеризуются неустойчивостью. При затворении водой они вначале интенсивно твердеют, но через 1–3 месяца, а иногда и позднее возникают деформации, обуславливающие обычно не только падение прочности, но даже разрушение системы. Такое поведение смесей гипсовых вяжущих с портландцементом при твердении – следствие образования трехсульфатной формы гидросульфатоалюмината кальция из высокоосновных алюминатов кальция, содержащихся в портландцементе, и сульфата кальция.

Представлялась заманчивой возможность сочетания гипсовых материалов с портландцементом в любых соотношениях и получение вяжущих, твердеющих без разрушительных деформаций и характеризующихся водостойкостью, высокой сульфатостойкостью и быстротой роста прочности, то есть положительными свойствами, присущими отдельным компонентам. Было установлено, что если в смеси гипсовых вяжущих веществ с портландцементом вводить надлежащее количество пуццолановых (гидравлических) добавок, содержащих кремнезем в активной форме, то достигается полная их стабильность и рост прочности при длительном твердении в воздушной или водной среде без разрушительных деформаций.

Установлено, что в качестве кислых гидравлических добавок могут быть использованы различные материалы, имеющие в своем составе активный кремнезем (трепелы, диатомиты, вулканические пеплы, туфы и трасы, золы и др.). Эти добавки должны быть предварительно измельчены до остатка не более 10 % на сите № 008. Количество гидравлической добавки, вводимой в смесь гипса и цемента, зависит от ее активности и определяется по специальной методике. Гидравлическая добавка снижает концентрацию гидроксида кальция в водной суспензии «гипс + цемент + гидравлическая добавка» до такого уровня, при котором нарушаются условия стабильного существования высокоосновных гидроалюминатов кальция ( $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 13\text{H}_2\text{O}$  и  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) и создаются предпосылки к переходу их в более устойчивые низкоосновные. При этом  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и  $\text{SiO}_2$  дают гидросиликаты типа CSH (B), по Р. Боггу, или C–S–H (I), по Х. Тейлору.

Такой ход реакции предопределяет неустойчивость трехсульфатной формы гидросульфатоалюмината кальция, который образуется в начальной стадии твердения, прекращение его дальнейшего образования, а возможно, и разложение. В последнем случае образуется односульфатная форма  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ,

гидрогранаты  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{SiO}_2 \cdot (6-2)n \text{H}_2\text{O}$ , гидросиликоалюминат  $3\text{CaO} \times \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSiO}_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ , гипс  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  и их твердые растворы.

Переход этtringита в односульфатную форму по схеме  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \times 31\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O} + 2\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + 12\text{H}_2\text{O}$  сопровождается уменьшением абсолютного объема твердой фазы исходного вещества в 1,55 раза и образованием воды в жидком виде. Это способствует значительному снижению небезопасных напряжений, которые могли вначале возникнуть в твердеющей системе вследствие образования этtringита. Таким образом, активный кремнезем пуццолановых добавок может находиться в составе гидроалюминатов указанного состава, не опасных для устойчивости системы. Силикаты кальция портландцемента ( $\text{C}_3\text{S}$  и  $\text{C}_2\text{S}$ ) при взаимодействии с водой в этих условиях дают гидросиликаты типа  $\text{CSH}$  (В) с пониженной основностью.

Отсутствие условий для стабильного существования этtringита в смеси гипса, портландцемента и пуццолановой добавки обеспечивает полную устойчивость данной системы при длительном твердении. Водостойкость же и способность к гидравлическому твердению обусловлены образованием рассмотренных выше малорастворимых соединений, и в первую очередь гидросиликатов кальция, защищающих двуводный гипс от растворяющего действия воды. В большой мере проявляется это защитное влияние на гипс, начиная с 15–20 % содержания портландцемента в трехкомпонентной смеси.

При применении в качестве активной гидравлической добавки трепелов ГЦПВ имеет следующий ориентировочный состав (в % по массе):

- гипс строительный (высокопрочный) – 50–65 %;
- портландцемент ЦЕМ I(II) 42,5 – ЦЕМ I(II) 52,5 – 20–25 %;
- кремнеземистая добавка – от 15–25 %.

В отдельных случаях при малой активности добавки необходимо применять пуццолановый портландцемент. Применение пуццоланового портландцемента всегда преимущественно, так как он в своем составе содержит активную кремнеземистую добавку. В случае же недостаточного содержания в пуццолановом портландцементе гидравлической добавки ее вводят в ГЦПВ дополнительно в таком количестве, при котором достигается необходимое снижение концентрации окиси кальция в водных суспензиях.

ГЦПВ по пределу прочности при сжатии разделяются на две марки – 100 и 150. Сроки схватывания этих вяжущих: начало – не ранее 4 минут, конец – не позднее 20 минут. Тонкость помола (остаток в % по весу на сите № 02) – не более 15 % для марки 100 и 10 % для марки 150.

При твердении изделий на ГЦПВ при повышенных температурах (например, сушка при 30–100 °С) необходимое отношение цемента к гидравлической

добавке определяется по ускоренной методике. Если выбранные соотношения по любой из приведенных методик не дадут требуемого снижения концентрации ионов кальция, то следует заменить гидравлическую добавку на более активную. Из ГЦПВ, изготовленных на основе строительного гипса, и портландцемента марки 400 и выше можно получать обычные бетоны и растворы марок до 15–20 МПа в зависимости от расхода вяжущего (300–450 кг/м<sup>3</sup>) и подвижности бетонных смесей. Коэффициент их размягчения 0,6–0,8. Прочность таких бетонов за 2–3 часа после изготовления достигает 30–40 % марочной.

Сухие смеси на основе ГЦПВ с использованием высокопрочного  $\alpha$ -гипса имеют через 2–3 часа прочность на сжатие 4–8 МПа, а через 7–15 суток нормального твердения – 10–25 МПа. Эти смеси характеризуются примерно теми же упругопластическими качествами, что и смеси на портландцементе схожих по прочности марок. Весьма интенсивно твердеют ГЦПВ на высокопрочном гипсе и особобыстротвердеющем цементе марок 500 и 600.

Если гипсовые смеси, особенно во влажном состоянии, отличаются высокими показателями ползучести, то ползучесть смесей на основе гипсоцементно-пуццоланового вяжущего, содержащих 20–25 % цемента и более, характеризуется примерно такой же, как и смеси на портландцементе.

При подборе составов ССС были использованы местные материалы отечественной переработки: гипсоцементно-пуццолановое вяжущее, вспученный перлит, вермикулит, микрокремнезем разных видов.

Для придания огнестойкости вводились тонкомолотые глиноземистые и кремнеземистые добавки. В качестве наполнителей использовались тонкомолотый керамзит, перлит, шамот, бой диатомитового кирпича, зола-унос ТЭЦ, кремнеземистые микросферы.

### **1.3. Легкие кладочные, теплоизоляционные, штукатурные сухие смеси**

Известно, что сухие растворные смеси (СРС) для кладочных и штукатурных работ имеют ряд преимуществ по сравнению с товарной растворной смесью [60, 61]. Производство СРС в России постоянно растет.

Особое место среди кладочных растворов занимают так называемые легкие («теплые»). По ГОСТ 28013–98 строительные растворы подразделяются на тяжелые (обычные) со средней плотностью 1500 кг/м<sup>3</sup> и более и легкие со средней плотностью менее 1500 кг/м<sup>3</sup>. С целью исключения «мостиков холода», которые имеют место при кладке с использованием обычных тяжелых

растворов, последние изготавливаются на пористых заполнителях. Рекомендуется использовать легкие кладочные растворы при ведении кладки наружных стен из особо легких стеновых керамических камней и кирпича (из так называемой поризованной керамики), а также из стеновых камней и блоков, выполняемых из ячеистых бетонов (газобетон, пенобетон, аэрированный легкий бетон) и легких бетонов на пористом заполнителе (керамзитобетон, перлитобетон, аглопоритобетон, опилкобетон и др.).

Теплоизоляционные сухие штукатурные смеси (ТСШС) с использованием высокопористых заполнителей предназначены для применения в качестве теплоизоляционной штукатурки на внутренней поверхности наружных стен с целью повышения их термического сопротивления. Такие штукатурные смеси наносятся на поверхность ограждающей конструкции с целью повышения термического сопротивления стены.

Незначительное удорожание кладочных и штукатурных работ, связанное с применением легких растворов из СРС заводского изготовления, компенсируется уменьшением затрат на отопление в осенне-зимний период эксплуатации здания. Кроме того, снижение средней плотности растворов и использование высокоэффективных стеновых кирпичей и камней с  $\rho_0 = 900\text{--}1200 \text{ кг/м}^3$  снижает массу наружных стен и нагрузку на фундамент.

Данные о составе легких сухих смесей на пористых заполнителях в технической литературе отсутствуют. Имеется только информация о технических характеристиках ряда смесей.

### ***Поризованные штукатурные растворы***

Исследованиям ССС на вспученных заполнителях предшествовали работы по созданию поризованных штукатурных теплоизоляционных и декоративных растворов с использованием вермикулита и абietата натрия (СНВ) (табл. 1.13).

Лучшие результаты получены при использовании пуццоланового портландцемента. При одинаковом расходе с портландцементом получены растворы с меньшей средней плотностью (на 5–8 %) и большей прочностью цемента (на 8–10 %). Растворные смеси на пуццолановом портландцементе имеют большую связность. Это объясняется большим выходом теста при одном и том же расходе с портландцементом и лучшей адсорбацией частиц данного вяжущего на поверхности зерен вермикулита.

Пластичность и количество теста являются определяющими факторами в формировании прочностных характеристик вермикулитовых растворов.

Таблица 1.13

## Характеристика поризованных вермикулитовых растворов

Тип вяжущего	Состав (цемент : вермикулит) по объему	Подвижность о. к., см	В/Ц	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности, в возрасте 28 суток, $1 \cdot 10^{-1}$ МПа	
					при сжатии	при изгибе
Портландцемент М-400	1:2	8	1,15	525	13,6	8,8
		9	1,25	480	7,8	5,6
		11	1,30	390	2,2	2,6
	1:3	9	1,40	480	9,6	8,8
		10	1,45	450	8,0	8,9
		12	1,55	385	2,0	2,4
Пуццолановый портландцемент М-300	1:2	8	1,20	505	15,2	9,0
		10	1,25	430	8,0	5,5
		11,5	1,30	360	2,5	2,0
	1:3	11	1,40	480	12,0	9,9
		12	1,50	420	8,0	9,0
		12,5	1,55	395	2,5	2,5

Для получения вермикулитовых штукатурных растворов рационально использовать пуццолановый портландцемент или портландцемент с введением пластифицирующих добавок, как поверхностно-активного (ПАВ), так и минеральных.

Поскольку поризация цементно-вермикулитовых растворов технической пеной в построечных условиях значительно усложняет процесс производства работ, так как требует применения пеногенератора, дозатора технической пены и затем приготовления пеномассы в растворосмесителе, то предпочтительнее готовить поризованные легкие растворные смеси с добавлением воздухововлекающих ПАВ (табл. 1.14).

Как показали результаты испытаний, введение СНВ приводит к снижению средней плотности растворов на 10 % при той же прочности, что и без добавки. Введение хлористого кальция и совместной добавки абьетата натрия и хлористого кальция обеспечивает повышение прочности на 10–40 %.

Таблица 1.14

**Влияние специальных добавок солей на свойства поризованных цементно-вермикулитовых растворов воздушного твердения.**  
**Материалы: вспученный гидрофлогопит с пластинчатой формой зерен,  $\rho_n = 1205 \text{ кг/м}^3$ , фр. 0,6–10 мм, портландцемент М-300, погружение конуса СтройЦНИЛ – 7–8 см**

Вид и количество добавки	Состав (цемент : вермикулит) по объему	В/Ц	Средняя плотность, $\text{кг/м}^3$	Предел прочности в возрасте 28 суток, $10^{-1}$ МПа	
				при сжатии	при изгибе
Без добавок	1:3	1,5	610	12,3	8,9
абиетат натрия – 0,1 %			590	11,5	10,1
хлористый кальций 1 %			605	12,7	11,2
абиетат натрия + хлористый кальций – 0,1 + 1 %			615	12,1	12,0
Без добавок	1:4	1,9	550	6,4	3,0
абиетат натрия – 0,1 %			530	4,8	4,6
хлористый кальций 1 %			550	8,3	5,3
абиетат натрия + хлористый кальций – 0,1 + 1 %			570	9,5	5,9
Без добавок	1:6	2,2	510	4,1	5,1
абиетат натрия – 0,1 %			490	3,8	4,2
хлористый кальций 1 %			510	7,0	6,7
абиетат натрия + хлористый кальций – 0,1 + 1 %			515	8,9	7,1
Без добавок	1:7,5	2,5	480	5,3	5,7
абиетат натрия – 0,1 %			470	7,8	4,0
хлористый кальций 1 %			475	6,4	5,8
абиетат натрия + хлористый кальций – 0,1 + 1 %			470	8,2	4,0

Для снижения расхода портландцемента и повышения подвижности штукатурных растворных смесей использовались тонкодисперсные минеральные

1.3. Легкие кладочные, теплоизоляционные, штукатурные сухие смеси

добавки: известь-пушонка, кембрийская глина, смеси глины и известь-пушонки (50 + 50 %), известковая паста (табл. 1.15).

Таблица 1.15

**Характеристика вермикулитовых штукатурных растворов с использованием различных минеральных пластификаторов**

Тип и количество добавки	Состав (цемент : пластификатор : вермикулит) по объему	В/Ц	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности в возрасте 28 суток, 10 <sup>-1</sup> МПа	
				при сжатии	при изгибе
Известь-пушонка	1:1:4	1,35	700	17,1	8,1
Известковая паста			685	13,5	8,8
Глиноизвесть			735	12,7	7,1
Кембрийская глина			720	10,2	7,6
Известь-пушонка	1:1,5:5	1,38	640	13,4	8,2
Известковая паста			625	12,8	7,4
Глиноизвесть			705	11,3	6,5
Кембрийская глина			670	10,3	6,9
Известь-пушонка	1:2:6	1,4	625	8,2	5,9
Известковая паста			615	6,7	4,9
Глиноизвесть			685	7,2	5,6
Кембрийская глина			650	7,2	6,3
Известь-пушонка	1:3:8	1,42	580	4,1	3,3
Известковая паста			575	4,4	3,1
Глиноизвесть			640	3,9	3,0
Кембрийская глина			590	5,2	5,1

С целью повышения декоративных качеств раствора вводились пигменты. Результаты испытаний представлены в табл. 1.16. Введение щелочестойких пигментов (3–20 %) изменяет цвет растворов от мягкого пастельного до яркого. На белом портландцементе получены более широкие цветовые гаммы. При ис-

пользовании обычного портландцемента растворы имели цвет, не совпадающий с цветом пигмента. Так, на красном сурике штукатурки имели кирпичный оттенок, на умбре – шоколадный. Декоративность, кроме цветового фона, обеспечивают золотистые и серебристые чешуйки вермикулита (рис. 1.19).

Таблица 1.16

**Характеристика штукатурных растворов на пластификаторах с пигментами**

Тип пигмента (цвет)	Тип пластификатора	Кол-во пигмента, % от массы цемента	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности в возрасте 28 суток, 10 <sup>-16</sup> МПа	
				при сжатии	при изгибе
Железный сурик (красный)	Известь-пушонка	5	584	7,8	7,5
	Глина кембрийская		650		
	Известь-пушонка	7	592	7,4	6,0
	Глина кембрийская		658		
	Известь-пушонка	10	595	6,9	5,8
Глина кембрийская	665				
Известь-пушонка	20	605	6,0	5,1	
Глина кембрийская		668			
Умбра (коричневый)	Известь-пушонка	5	596	8,2	6,2
	Глина кембрийская		660		
	Известь-пушонка	7	589	7,7	5,8
	Глина кембрийская		668		
	Известь-пушонка	10	605	7,2	4,9
Глина кембрийская	675				
Известь-пушонка	20	618	6,5	4,7	
Глина кембрийская		696			
Известь-пушонка	40	648	6,0	4,0	
Глина кембрийская		702			

Лучшие цветовые гаммы (с применением более дешевого обычного портландцемента) получены при содержании 10 % умбры и железного сурика от

массы цемента. Эти составы использовались на объектах строительства треста «Ленотделстрой».

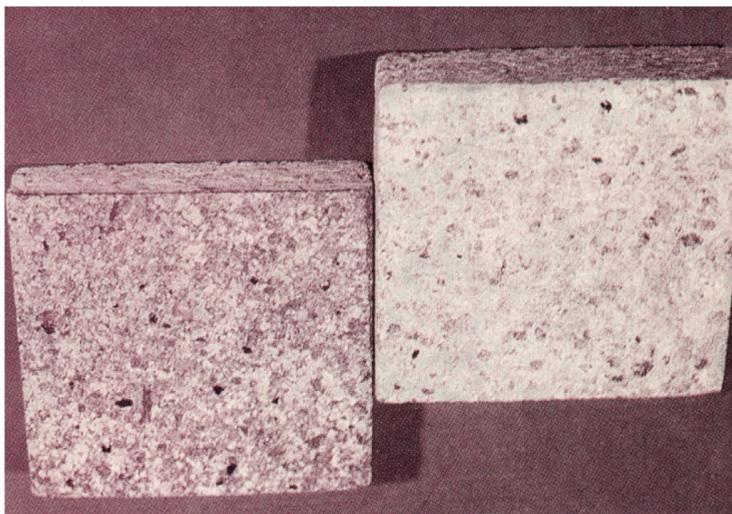


Рис. 1.19. Фрагменты декоративных теплоизоляционных вермикулитовых штукатурок

### *Декоративные плиты*

При строительстве здания райисполкома в г. Алдане для отделки использовалась декоративная вермикулитовая штукатурка составов 1:1,5:5 (портландцемент : известковое тесто : вермикулит) и 1:1:3:3 (портландцемент : известковое тесто : природный песок : вермикулит) по объему со средней плотностью  $650 \text{ кг/м}^3$  и  $1200 \text{ кг/м}^3$  соответственно. Для придания декоративности портландцемент смешивался со щелочестойкими пигментами (охра, железный сурик, оксид хрома) в количестве 5–10 % от массы цемента. Всего было оштукатурено  $800 \text{ м}^2$  площади стен. За период 10-летних наблюдений, несмотря на суровые зимы (морозы достигали  $-55 \text{ }^\circ\text{C}$ ), не было отмечено трещин, отслоений на поверхности стен.

Испытаниям на звукопоглощение подверглись образцы вермикулитовых штукатурок на заполнителе фр. 0,6–10 мм кубообразной формы, поскольку вспученный вермикулит пластинчатой формы, как было выяснено ранее, обладает меньшим звукопоглощением. Экспериментальные значения коэффициентов звукопоглощения вермикулитовых растворов оптимальных составов, а также других материалов, часто употребляемых для целей звукопоглощения,

приведены на рис. 1.20. Для сравнения испытывались образцы обычной цементопесчаной штукатурки.

Коэффициент звукопоглощения определялся в акустической трубе Кундта (фирма «Брюль и Кер») по методике, разработанной кафедрой физики СПбГАСУ и СНиП П12-77 «Защита от шума».

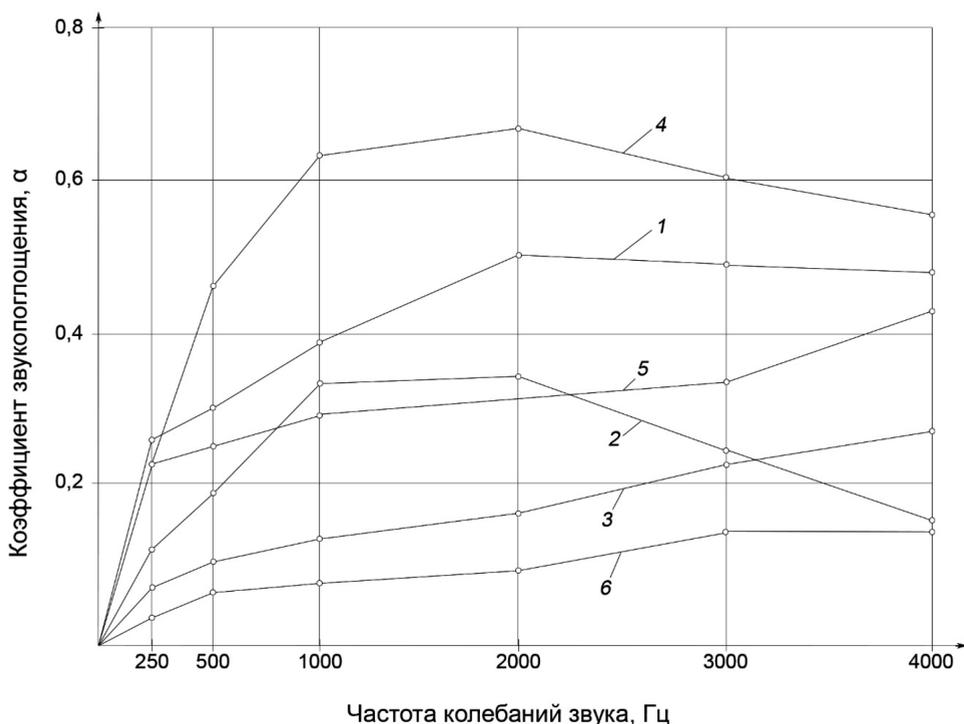


Рис. 1.20. Зависимость коэффициента звукопоглощения различных материалов от частоты колебаний звука: 1 – асбестовермикулитовый напыляемый раствор, состав 1:4 (жидкое стекло : вермикулит) с 20 % асбеста,  $\rho_0 = 280 \text{ кг/м}^3$ ; 2 – вермикулитовая штукатурка, состав 1:3:8 (портландцемент : известь-пушонка : вермикулит),  $\rho_0 = 550 \text{ кг/м}^3$ ; 3 – вермикулитовая штукатурка, состав 1:2:6 (портландцемент : известь-пушонка : вермикулит),  $\rho_0 = 585 \text{ кг/м}^3$ ; 4 – минераловатная плита,  $\rho_0 = 250 \text{ кг/м}^3$ ; 5 – древесно-стружечная плита,  $\rho_0 = 600 \text{ кг/м}^3$ ; 6 – цементопесчаная штукатурка,  $\rho_0 = 2100 \text{ кг/м}^3$

Асбестовермикулитовый раствор обладает коэффициентом звукопоглощения, как минераловатные изделия той же плотности, а вермикулитовые растворы на портландцементе и извести близки по этому показателю к древесно-стружечным плитам и значительно превосходят цементопесчаные растворы.

С увеличением содержания вермикулита звукопоглощение возрастает. На свойства растворов оказывает влияние состояние поверхности изоляции. Напыляемая изоляция ввиду значительного воздухововлечения при нанесении на конструкцию имеет больше открытых пор и шероховатую поверхность, чем растворы, наносимые вручную с заглаживанием поверхности правилом. Это приводит к снижению звукопоглощения.

Испытания показали, что с увеличением толщины слоя звукопоглощение вермикулитовых растворов растет незначительно [130]. Коэффициент звукопоглощения пористых материалов зависит в первую очередь от характера пор (а не толщины). Достаточное звукопоглощение имеет место уже при толщине слоя изоляции, равной 20 мм. Следовательно, вермикулитовые растворы могут использоваться для целей звукопоглощения.

## 1.4. Подбор составов и свойства теплоизолирующих растворов на портландцементе

При подборе составов легких ССС нами применялись следующие материалы:

- портландцемент М-400 Д-О производства Никольского цементного завода и портландцемент М-500 Д-О завода «Мальцевский портландцемент» (Брянская обл.);
- известь-пушонка II сорта производства Угловского известкового комбината;
- природный песок Финского залива, непрерывность зернового состава 0,16–2,5 мм,  $M_{кр} - 2$ ;
- вспученный перлит М-75 фракции 0,16–2,5 мм из Арагацкого месторождения (Армения) производства ООО «Петроперлит», г. Санкт-Петербург; вспученный перлит М-100 фракции меньше 0,16 мм производства ООО «Магаданперлит», полученный обжигом вулканического песка Хасынского месторождения (ГОСТ 10832–91);
- вспученный вермикулит Ковдорского месторождения М-100 фракции 0,16–5 мм производства Ленинградской слюдяной фабрики (г. Колпино);
- воздухововлекающие добавки: 1) силипон (Silipon RN6031) фирмы «Геркулес»; 2) сульфол производства Выборгского ЦБК; 3) лигносульфонат (ЛСТ).

Сухие смеси для лабораторных исследований приготавливались смешиванием составляющих в гомогенераторе: общее время приготовления сухой смеси – 4 мин.

Растворные смеси пластичной консистенции с осадкой конуса 10–12 см изготавливались в лабораторном смесителе с тремя частотами вращения (60, 120, 240 об/мин). В смеситель заливалась вода и засыпалась смесь сухих твердых компонентов и в течение 30 с перемешивалась с частотой 120 об/мин, затем еще 60 с со скоростью 240 об/мин, что обеспечивало аэрирование растворной смеси.

Средняя плотность затвердевших ЛСКС, так же как и пустотелой поризованной керамики, должна находиться в пределах 1000–1300 кг/м<sup>3</sup>.

Пределы прочности при сжатии образцов размеров 7,07×7,07×7,07 см в возрасте 28 суток нормального твердения должны быть 5, 7,5 и 10 МПа (марки растворов М-50, М-75, М-100) в зависимости от здания и типа стены (несущая, самонесущая).

Теплоизоляционные штукатурные смеси должны иметь морозостойкость не менее 35 циклов, марку подвижности, осадку конуса СтройЦНИЛ 8–10 см,  $\rho_0 < 600$  кг/м<sup>3</sup> при пределе прочности при сжатии 0,5 МПа.

Сложность подбора состава легких кладочных растворов заключается в том, что, в отличие от подбора состава обычных растворов, где заданными параметрами являются предел прочности при сжатии и подвижность растворной смеси, нужно выдержать требования и по средней плотности затвердевшего раствора.

Для определения оптимальных составов ЛСКС на основе вспученного перлита и вермикулита готовилась серия образцов с различными соотношениями между смешанным вяжущим (портландцемент + гидратная известь-пушонка), песком и легким заполнителем. В работе учитывались результаты ранее проведенных исследований [7, 59, 61, 127], что позволило упростить подбор соотношения составляющих. Количество песка на 1 м<sup>3</sup> раствора было принято равным 700 кг/м<sup>3</sup>; количество пористого заполнителя изменялось от 0,4 до 0,5 м<sup>3</sup> извести-пушонки – 50–60 кг на 1 м<sup>3</sup> растворной смеси. Воздухововлекающие добавки вводились в количестве 0,20–0,35 % от массы портландцемента. Водоцементное соотношение изменялось в пределах от 0,70–0,90, что обеспечивало заданную подвижность растворной смеси.

Расчет состава ЛСКС (пример расчета для раствора с  $\rho_0 = 1000$  кг/м<sup>3</sup> приведен ниже) производился по методу поровых объемов:

$$\Pi_{\text{ист}} = \frac{\rho_{\text{ист}} - \rho_0}{\rho_{\text{ист}}}, \quad (1)$$

где  $\rho_{\text{ист}}$  – истинная средневзвешенная плотность,  $\rho_0$  – заданная средняя плотность затвердевшего ЛСКС.

$$\rho_{\text{ист}} = \frac{m_{\text{цк}}\rho_{\text{цк}} + m_{\text{ик}}\rho_{\text{ик}} + m_{\text{п}}\rho_{\text{п}} + m_{\text{п.всп}}\rho_{\text{п.всп}} + m_{\text{пав}}\rho_{\text{пав}}}{m_{\text{цк}} + m_{\text{ик}} + m_{\text{п}} + m_{\text{п.всп}} + m_{\text{пав}}} = 2600, \quad (2)$$

где в числителе сумма произведений масс и истинных плотностей цементного камня, песка, вспученного перлита (вермикулита), ПАВ соответственно, а в знаменателе – сумма масс. Истинная пористость АЛР:

$$P_{\text{ист}} = \frac{(2600 - 1000) \cdot 100}{2600}. \quad (3)$$

Таким образом, легкий кладочный раствор со средней плотностью  $\rho_0 = 1000 \text{ кг/м}^3$  имеет истинную (суммарную) пористость 61,5 %, что обеспечивает невысокие показатели теплопроводности.

Далее рассчитывались абсолютные объемы твердых составляющих и расход материалов на  $1 \text{ м}^3$  растворной смеси.

Как отмечалось выше, расходы песка, пористых заполнителей практически не изменяются при подборе состава; варьировалось в основном содержание портландцемента, извести-пушонки и воды (В/Ц).

Расход портландцемента в тоннах на  $1 \text{ м}^3$  определялся по формуле Н. А. Попова:

$$Ц = \frac{R_{\text{ЛСКС}}^{28} + 0,05}{kR_{\text{ц}}}, \quad (4)$$

где  $R_{\text{ЛСКС}}$  – прочность легкого кладочного раствора в возрасте 28 суток нормального твердения;  $R_{\text{ц}}$  – марка портландцемента. В нашем случае использовался портландцемент марки 500-ДО-Н. Марка вяжущего взята исходя из того, что ЛСКС будет использоваться и для работ в зимнее время (средняя активность портландцемента 500 в возрасте трех суток, по данным завода-изготовителя, 31,2 МПа;  $k$  – коэффициент, учитывающий вид и качество заполнителей. В нашем случае  $k = 0,5-0,6$  – для вспученного перлита, 0,6 – для вспученного вермикулита, исходя из того, что ККК перлитовых растворов выше, чем у вермикулитовых, на 20 %.

ЛРС укладывались в формы, имеющие пористое и плотное основание. После 28 суток твердения определялись основные характеристики легких кладочных растворов: предел прочности при сжатии в возрасте 28 дней и средняя плотность затвердевшего раствора. Результаты испытаний приведены ниже (табл. 1.17).

**Составы и свойства ЛСКС с использованием вспученного перлита,  
ПАВ = 0,2 % от массы портландцемента**

ПАВ	Расход материалов на 1 м <sup>3</sup> раствора					Погружение конуса СтройЦНИЛ, см	$\rho_0$ , кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности, МПа		ККК
	Щ, кг	Известь, кг	Песок, кг	Перлит, м <sup>3</sup>	Вода, л			сжатие	изгиб	
Сульфолол	300	50	700	0,5	325	7,0	1200	5,5	1,9	0,46
	350	50	700	0,5	330	7,0	1230	5,9	2,1	0,48
	400	50	700	0,5	350	8,0	1260	5,9	2,2	0,47

Полученные данные (табл. 1.18) свидетельствуют о том, что в случае приготовления растворных смесей без применения ПАВ и с использованием лигносульфоната показатели средней плотности растворов не соответствуют нормам ( $\rho_0$  более 1300 кг/м<sup>3</sup>). Это связано с отсутствием воздухововлечения. В то же время введение ПАВ при аэрировании (перемешивание смеси с частотой вращения лопастей смесителя 240 об/мин) обеспечивает дополнительную поризацию смеси.

На рис. 1.21 представлены гистограммы, характеризующие зависимость подвижности легких кладочных растворных смесей состава (портландцемент – 400 кг, песок – 700 кг, пористый заполнитель – 0,4 м<sup>3</sup>, вода – 0,3 м<sup>3</sup>).

Сравнение основных технических характеристик ЛСКС, полученных с использованием ПАВ, показывает, что выход растворной смеси одного и того же состава выше на 20 % с применением сульфолола при практически тех же показателях подвижности и водоудерживающей способности смеси. При этом несколько ниже средняя плотность растворов на сульфололе ( $\rho_0 = 1160\text{--}1180$  кг/м<sup>3</sup> против  $\rho_0 = 1380\text{--}1390$  кг/м<sup>3</sup> на лигносульфонате). В то же время показатели прочности, наоборот, выше у состава с лигносульфонатом. Это может быть объяснено тем, что микропенки ПАВ, оседающие на поверхности зерен портландцемента, в случае применения сульфолола более гидрофобны, что замедляет гидратацию клинкерных минералов портландцемента в первый месяц твердения (табл. 1.19).

Таблица 1.18

**Характеристика оптимальных составов ЛКС с использованием  
вспененного перлита**

Расход материалов на 1 м <sup>3</sup>		Осадка конуса СтройЦНИЛ, см		Водудерживающая способность, %	Предел прочности при сжатии в возрасте 28 суток, МПа		Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>		Коэффициент выхода растворной смеси			
		Пав, кг	Щ, кг		Известь-пушонка	Вспушенный перлит, м <sup>3</sup>	Песок, кг	Вода, л		Плотное основание	Пористое основание	
Сульфолон	400	50	0,4	700	275	11	96,1	5,55	5,25	1118	1160	0,65
Лигносульфонат	400	50	0,4	700	275	12	90,4	7,55	6,46	1390	1380	0,55

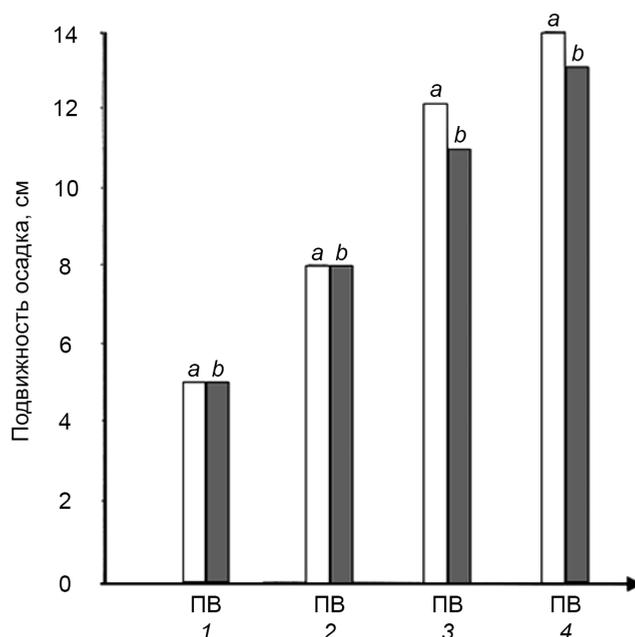


Рис. 1.21. Зависимость подвижности легких кладочных растворных смесей от состава.

Состав смесей: ПЦ – 350 кг, вспученный заполнитель – 400 л,  
песок – 775 кг, вода – 280 л; П – с применением вспученного перлита;  
В – с применением вспученного вермикулита;

1 – состав без добавления извести-пушонки и без ПАВ;

2 – состав с добавлением извести-пушонки – 50 кг/м<sup>3</sup> (без ПАВ);

3 – состав с добавлением извести-пушонки – 50 кг/м<sup>3</sup> (ПАВ – сульфол – 2 кг/м<sup>3</sup>);

4 – состав с добавлением извести-пушонки – 50 кг/м<sup>3</sup> (ПАВ – лигносульфонат – 2 кг/м<sup>3</sup>)

Испытания показали, что подобранные нами составы ЛСКС, представленные в табл. 1.19, отвечают требованиям ГОСТ для каждого раствора. Они были подвергнуты дополнительным испытаниям в ИЦ СПбГАСУ.

Результаты исследований показали, что ЛСКС имеют сорбционную влажность до 6 % при относительной влажности воздуха 50–60 % (рис. 1.22).

Поскольку воздухововлекающая добавка – сульфол отличается повышенной сорбционной влажностью (5 %), была изготовлена серия образцов из сухой смеси, в которой вместо этого ПАВ применялась малогигроскопическая воздухововлекающая и пластифицирующая добавка – силипон. Поскольку выход технической пены при ее использовании вдвое больше, чем у сульфола, количество этой добавки было сокращено до 0,1 % от массы портландцемента. Основные свойства СЛКС на основе вспученного перлита представлены в табл. 1.20.

1.4. Подбор составов и свойства теплоизолирующих растворов...

Таблица 1.19

Техническая характеристика ЛСК на основе вспученного перлита

№	Расход ПАВ в замесе	В/Ц	Выход растворной смеси, л	Предел прочности при изгибе, МПа	Предел прочности при сжатии, МПа	Погружение конуса, см	$\rho_{ср}$ , кг/м <sup>3</sup>	$\rho_0$ , кг/м <sup>3</sup>	Состав по массе (в частях) на 1 м <sup>3</sup> раствора	Расход на 1 тонну сухой смеси, кг			
										П/Ц	И	П	Пр
1	–	0,68	1	69,5–74,2	26,4 / 19,5	6	1440	1190	1:0,125:1,75:0,1(0,63) 1:2	337	42	598	34
										340	45	600	35
										Сумма = 1020			
2	Сульфатнол – 0,25 % от массы цемента	0,58	1,15	37,5–35,0	9,6 / 13,5	9,5	1420	1190	1:0,125:1,75:0,1(0,63) 1:2	337	42	598	34
										340	45	600	35
										Сумма = 1020			
3	Лигносульфат – 0,25 % от массы цемента	0,58	1,05	40,5	14,8 / 14,5	7	1420	1190	1:0,125:1,75:0,1(0,63) 1:2	337	42	598	34
										340	45	600	35
										Сумма = 1020			

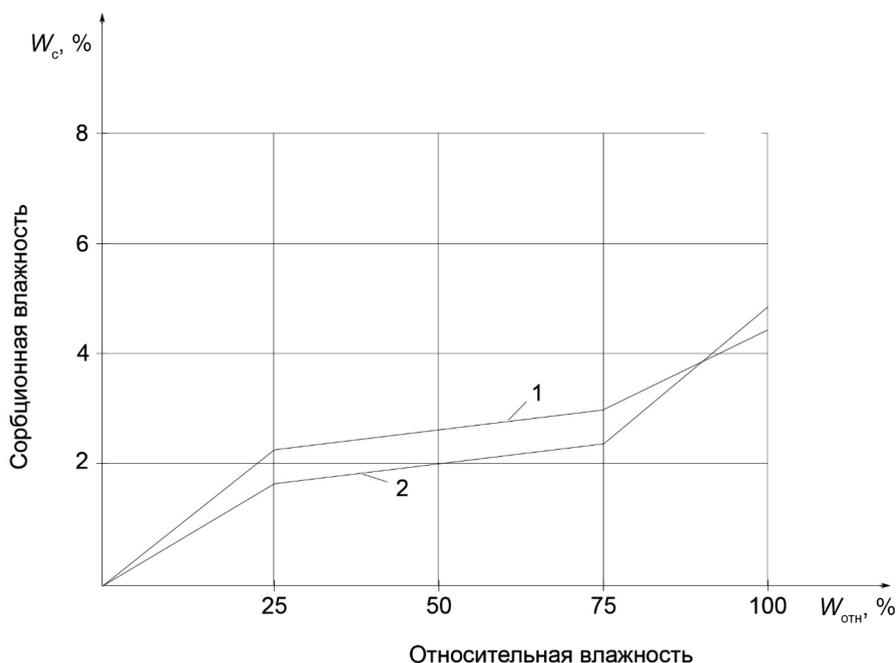


Рис. 1.22. Сорбционная влажность аэрированных растворов естественного твердения: 1 – перлитопесчаные растворы; 2 – вермикулитопесчаные растворы

Таблица 1.20

**Составы и свойства ЛСКС с использованием вспученного перлита (ПАВ = 0,1 % от массы портландцемента)**

ПАВ	Расход материалов на 1 м <sup>3</sup> раствора					Подвижность О. К., см	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности при сжатии, МПа	ККК
	ПЦ, кг	Известь- пушонка, кг	Вспученный перлит, м <sup>3</sup>	Песок, кг	Вода, л				
Силипон	300	50,0	0,5	600	310	10	1050	5,5	0,51
	350	50,0	0,5	600	320	11	1090	7,5	0,69
	400	50,0	0,5	600	330	11	1120	10,0	0,89

Составы с использованием силипона эффективнее – они дали более высокий показатель ККК (0,51–0,89) против 0,46–0,47 у составов на сульфоноле.

Кроме легких кладочных растворов из ССС, нами разработаны и внедрены теплоизоляционные сухие штукатурные смеси (ТСШС). Получены растворы со вспученным перлитом со средней плотностью менее 600 кг/м<sup>3</sup> и теплопроводностью не более 0,12 Вт/м · К. Их отличают высокая подвижность, удобоукладываемость, высокая адгезия к кирпичным газобетонным, бетонным стенам, они легко заглаживаются, дают ровные, гладкие поверхности. Кроме того, они отличаются высокой водоудерживающей способностью и не расслаиваются при транспортировке, их отличают малая усадка (0,2–0,4 мм/м) при твердении и отсутствие трещин. Смеси следует использовать для дополнительного оштукатуривания внутренней поверхности стен с целью повышения их термического сопротивления. Они «дышат», то есть хорошо пропускают пар через свою толщину. Такие штукатурки водостойки, так как выполнены с использованием минеральных заполнителей и вяжущих. Отличительная особенность перлитовых штукатурок – высокая огнестойкость, негорючесть. Они нетоксичны, экологически безвредны. Их рекомендуется использовать для повышения теплоизоляции перекрытий над холодными проездами и подвалами, для чердачных покрытий, совмещенных кровель и т. п. Дополнительное оштукатуривание повышает термическое сопротивление наружной стены от  $R_{\text{терм}} = 0,5 \text{ м}^2 \cdot \text{к/Вт}$  и выше в зависимости от толщины штукатурного слоя.

Таблица 1.21

**Составы и свойства ТСШС со вспученным перлитом М-75  
(ПАВ = 0,2 % от массы порландцемента)**

ПАВ	Расход материалов на 1 м <sup>3</sup> раствора					Осадка конуса, см	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности при сжатии, МПа
	ПЦ, кг	Известь-пушонка, кг	Вспученный перлит, м <sup>3</sup>	Песок, кг	Вода, л			
Силипон	200	50	1,0	100	390	12	450	10
	200	50	1,0	150	310	11	505	15,0
	200	50	1,0	200	325	11	555	17,5

Анализ полученных результатов (табл. 1.21) свидетельствует, что разработанные нами сухие штукатурные смеси относятся к теплоизоляционным. Растворные смеси из ТСШС высокопластичны, имеют высокую водоудержива-

ющую способность, легко заглаживаются правилом. Наличие мелкозернистого вспученного перлита пластифицирует растворную смесь и делает поверхность ровной и гладкой.

Как показали теплофизические испытания в «ИЦ-ПКТИ СтройТЕСТ» (г. Санкт-Петербург) фрагментов кладки из поризованных керамических камней производства ЗАО «Победа-КНАУФ» (тип 10,8NF, размер 380×250×219 мм) и пустотелого облицовочного кирпича, при наличии «теплого» кладочного раствора ( $\rho_0 = 1100 \text{ кг/м}^3 \text{ М-50}$ ) с применением вспученного перлита повышается термическое сопротивление ограждения на 15 %, создается однородное по всей глади стены температурное поле.

Испытания фрагментов кладки с дополнительным оштукатуренным теплоизоляционным раствором из СРС на основе вспученного перлита ( $\rho_0 = 600 \text{ кг/м}^3$ ) толщиной 50 мм дало увеличение термического сопротивления ограждения на  $0,4 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ . Выпуск легких сухих растворных смесей со вспученным перлитом по разработанной рецептуре освоен фирмами ООО «Петроперлит», ЗАО «Магаданперлит» [127].

### ***Особенности технологии и ремонта теплоизоляции подкрышного пространства панельного дома серии Г-3И***

В Санкт-Петербурге, как и во всей России, все более актуальными становятся вопросы реконструкции домов индустриальной постройки первых массовых серий. В настоящее время реализуется федеральная программа реконструкции жилищного фонда первого периода массового домостроения. Одной из наиболее острых проблем является ремонт теплоизоляции этих зданий. Если технологии фасадного утепления отработаны достаточно хорошо и на рынке имеется широкий ассортимент систем теплоизоляции наружных стен, то тепло- и звукоизоляция подкровельных перекрытий в зданиях с непроходными чердаками представляет большие трудности, поскольку в этих домах традиционные утеплители (рулоны, маты, плиты) невозможно уложить без демонтажа кровельных плит.

Предлагаемая СПбГАСУ, ООО «ПетроПерлит» и ОАО «Ленжилниипроект» технология утепления подкровельных перекрытий (рис. 1.23) в первую очередь ориентирована именно на здания с непроходными чердаками (например, дома серий Г-2И, Г-3И, 1-335, 1-507).

Технология базируется на использовании самовыравнивающегося раствора тепло- и звукоизоляционного материала на основе перлитового песка

(ГОСТ 10832–2009 «Песок и щебень перлитовые вспученные. Технические условия»). Средняя плотность раствора – 300 кг/м<sup>3</sup>; теплопроводность – 0,06 Вт/м · К; прочность сжатия – 0,35 МПа; температура применения – от –150 до +800 °С. Материал негорючий (НГ), паропроницаемый, экологически чистый.

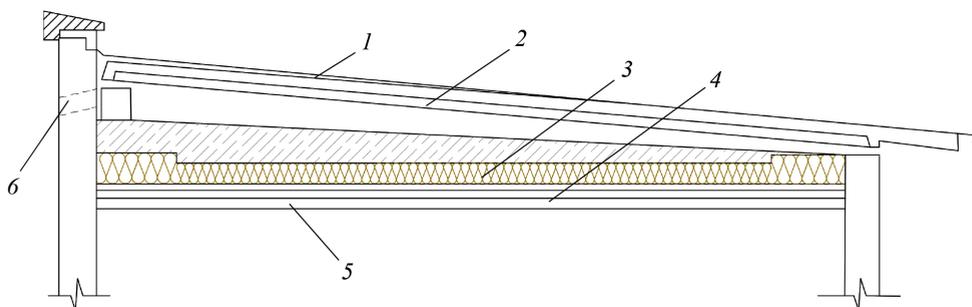


Рис. 1.23. Принципиальная схема утепления чердака для домов серий Г-2И и Г-3И:  
1 – кровельный ковер; 2 – покрытие крыши; 3 – новый теплоизоляционный слой (перлитовый раствор); 4 – старый теплоизоляционный слой (фибролит);  
5 – железобетонное покрытие; 6 – вытяжное отверстие

Раствор подается из растворосмесителя насосом и вводится в подкрышное пространство дома. Фактическая толщина теплоизоляционного слоя позволяет обеспечить термическое сопротивление утепленного перекрытия не менее  $R = 3,8 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ .

Новый монолитный утеплитель способен поддерживать постоянную теплопроводность, так как перлитовый раствор является самовентилирующимся материалом. Конструкция сплошного утепляющего слоя отвечает требованиям к вандализационности, поскольку препятствует его повреждению и расхищению, что позволяет применять вышеописанную методику утепления также для зданий с проходными чердаками и межэтажных перекрытий.

В Санкт-Петербурге продолжает осуществляться городской план капитального ремонта домов первых массовых серий. В рамках данных работ в доме № 7 по пр. Народного Ополчения в летнее время было проведено утепление подкровельного перекрытия с непроходным чердаком при помощи теплоизоляционного раствора на основе перлитового песка. Работы осуществлялись без демонтажа кровельных плит и расселения жильцов. Протечки в квартирах верхних этажей и на фасаде дома (через вентиляционные отверстия) отсутствуют.

## 1.5. Теплоогнезащитные растворы

Начиная с 1980-х гг. на кафедре строительных материалов ЛИСИ Ю. М. Тихоновым и И. У. Аубакировой велись исследования по разработке тепло- и огнезащитных бетонов и растворов [9,16]. Изучались бетоны и растворы на вспученном вермикулите и перлите с использованием в качестве связующих органосиликатных композиций наряду с традиционно применяемыми связующими, такими как жидкое стекло, пуццолановый портландцемент, фосфатные материалы. Были исследованы минеральные тепло- и огнезащитные материалы, содержащие как вспученные ингредиенты (вспученный перлит, вспученный вермикулит), так и невспученные (вермикулит-сырец, перлит-сырец), а также связующее, состоящее из жидкого стекла с отвердителем и смеси тонкодисперсных силикатов натрия (измельченная силикат-глыба). Будучи тонкослойными, они не приводят к значительному утяжелению строительных конструкций, вместе с тем обеспечивая достаточно высокую огнестойкость и теплозащиту.

А. П. Пожниным и Ю. М. Тихоновым совместно с сотрудниками треста «Ленотделстрой» в 1960–1970-е гг. разрабатывались огнезащитные силикатные краски на основе жидкого стекла и вспученного вермикулита. Огнестойкость конструкций, покрытых такими красками, увеличивалась на 0,5–2 часа в зависимости от толщины покрытия [79]. В течение долгого времени этот состав и его модификации использовались для огнезащиты деревянных, стальных, армоцементных конструкций, а также панелей из древесноволокнистых, древесностружечных плит, для повышения огнестойкости противопожарных занавесей сцен театров и кинотеатров. Огнезащитные вермикулитосодержащие обмазки использовались при огнезащите БКЗ «Октябрьский», Дворца спорта «Юбилейный», гостиниц «Советская», «Ленинград», аэропорта Пулково, ряда кинотеатров. Использование таких красок было гораздо экономичнее, чем применение шамотных штукатурок, а огнестойкость деревянных конструкций увеличилась в четыре раза.

На кафедре технологии строительных материалов и метрологии СПбГАСУ М. Ю. Гугучкина и Ю. М. Тихонов впервые [30] разработали составы и исследовали свойства ССС на гипсовом вяжущем и легких заполнителях – вспученном вермикулите и перлите. Впервые была определена зависимость трещиностойкости, объемной усадки и остаточной прочности образцов ССС от содержания вспученных заполнителей – вермикулита и перлита после высокотемпературных испытаний на экспериментальной установке, развивающей температурный режим, приближенный к стандартному режиму печи ВНИИПО.

Повысить огнезащитные свойства композитов можно за счет применения гипсоцементно-пуццоланового вяжущего и модифицирующих добавок, негорючих сырьевых материалов и выбора температурного режима испытаний, приближенного к стандарту ВНИИПО. При подборе оптимального отношения вяжущего и вспученных минеральных заполнителей также следует правильно выбрать воздухововлекающие, пластифицирующие и водоудерживающие добавки, адгезивы, регуляторы схватывания и регуляторы твердения. При подборе оптимальных минеральных добавок нужно подобрать оптимальный режим перемешивания смеси с применением воздухововлекающей добавки. Анализ литературных источников и ранее проведенных исследований позволяет выделить те материалы, которые способны обеспечить негорючесть и повысить класс огнестойкости материала. Нужно учитывать вопросы импортозамещения, экономическую эффективность – следует выбирать материалы, обеспечивающие невысокую стоимость при максимальной технической эффективности.

Для модификации свойств гипсового теста применялись модифицирующие добавки: адгезив – релаксированный порошок (Vinnapas 5010N), 1–2 %; замедлитель схватывания (винная кислота), 0,05–0,1 %; загуститель (Amitrolit 8882), 0,1–0,2 %; порообразователь (Silipon 1880), 0,02 %; водоудерживающая добавка эфира целлюлозы (Mecellose FMC 7150), 0,1–0,15 %. Их влияние отражено в табл. 1.22.

Таблица 1.22

**Свойства растворов ССС на гипсовом вяжущем с применением вспученного вермикулита и перлита**

Состав по объему (гипс : вермикулит : перлит)	Свойства раствора		Свойства образцов после высокотемпературных воздействий		
	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности при сжатии, МПа	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности при сжатии, МПа	Объемная усадка, %
Г : В : П = 1:0,75:0,75	650	2,7	570	0,55	17

Обеспечение пожарной безопасности входит в число ключевых задач при строительстве и эксплуатации современных высотных зданий, деловых и про-

мышленных комплексов. В строительстве широко используются тонкостенные железобетонные, армоцементные, фибробетонные, деревянные и металлические конструкции, предел огнестойкости которых не превышает 30 мин.

Специфика современного строительства – рост этажности зданий и протяженности путей эвакуации диктует повышенные требования к пожарной безопасности используемых строительных материалов. Это нашло отражение в ужесточении норм законодательства в сфере пожарной безопасности. С 2008 г. действуют законы ФЗ № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» и ФЗ № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений». С введением в действие этих технических регламентов появилась классификация строительных материалов по группам горючести – от КМ0 до КМ5. Негорючими являются только материалы класса КМ0. Согласно новым регламентам, эти материалы следует применять в вестибюлях, на лестничных клетках, лифтовых холлах, в зданиях более 17 этажей или 50 метров высотой, а также в зданиях детских дошкольных образовательных учреждений, театрах, клубах, музеях, вокзалах вне зависимости от этажности.

В связи с этим актуальной является проблема повышения пределов огнестойкости строительных конструкций за счет применения эффективных огнезащитных материалов. В качестве средств защиты от огня предлагаются огнезащитные штукатурки, пропитки, краски, обмазки, экраны (плиты и листы). Некоторые из них дороги, другие не обеспечивают необходимого уровня огнезащитной эффективности. Ряд из составов для огнезащитных экранов разработан на кафедре «Технологии строительных материалов и метрологии» СПбГАСУ. Представлены результаты исследования, посвященного проверке на температуростойкость новых огнезащитных экранов на основе гипсового вяжущего и особо легких заполнителей – вспученного вермикулита и перлита, а также минеральных волокон.

В качестве исходных материалов для ССС, использованных при изготовлении испытуемых образцов, применялись: гипсовое вяжущее марки Г6-АП,  $\rho_n = 950 \text{ кг/м}^3$ ; вспученный вермикулит,  $\rho_n = 140 \text{ кг/м}^3$  (М 150), фр. 0,16–1,25 мм,  $\lambda = 0,07 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$  (производство ЗАО «Слюдяная фабрика», г. Колпино, Санкт-Петербург); вспученный перлит,  $\rho_n = 95 \text{ кг/м}^3$  (М 100), фр. 0,16–1,25 мм,  $\lambda = 0,05 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$  (производство «КНАУФ ГИПС КОЛПИНО», Санкт-Петербург); хризотил-асбест распушенный, IV сорт, диаметр волокон 0,02–0,04 мкм,  $\rho_n = 2600 \text{ кг/м}^3$  (Завод асбестовых технических изделий, Санкт-Петербург).

Рецептура огнезащитного состава ССС на гипсовом вяжущем представлена в табл. 1.23–1.33.

### 1.5. Теплоогнезащитные растворы

В отличие от подбора состава тяжелого бетона на проектирование состава аэрированных легких растворов, кроме требуемой прочности, необходимо иметь показатель средней плотности не выше определенного уровня при необходимой подвижности легкобетонной аэрированной смеси. Предел прочности при сжатии и средняя плотность АЛБ являются функциями состава этого бетона.

При подборе состава АЛБ выявлялась зона его оптимального состава, отбирались композиции, обеспечивающие показатель  $R_{сж}^{28}$  от 3,5 до 10,0 МПа и  $\rho_0$  от 600 до 900 кг/м<sup>3</sup>.

Таблица 1.23

#### Технические свойства аэрированных растворов на высокопрочном гипсовом вяжущем (гипс ГВВС-16)

Наименование	Г : 3 = 1:1 (по объему) без фибры			
	Вспученный вермикулит	Вспученный перлит	Керамзит	Пенополистирол (ППС)
Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	740	790	845	610
Предел прочности при сжатии, МПа	9,8	7,2	10,2	3,2
Предел прочности при изгибе, МПа	1,85	2,73	1,95	1,32
Коэффициент конструктивного качества, ККК, $\times 10^3$	13,2	9,1	12,1	5,25

Таблица 1.24

#### Технические свойства аэрированных растворов на гипсовом вяжущем (гипс Г-6)

Наименование	Г : 3 = 1:1 (по объему) без фибры			
	Вспученный вермикулит	Вспученный перлит	Керамзит	Пенополистирол (ППС)
Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	735	775	840	615
Предел прочности при сжатии, МПа	7,9	6,4	9,6	3,0

Наименование	Г : З = 1:1 (по объему) без фибры			
Вид пористого заполнителя	Вспученный вермикулит	Вспученный перлит	Керамзит	Пенополистирол (ППС)
Предел прочности при изгибе, МПа	1,71	2,14	1,65	1,28
Коэффициент конструктивного качества, ККК, $\times 10^3$	10,7	8,3	11,4	4,8

Проводились исследования влияния волокнистых добавок на свойства (фибра). Исследования показывают, что содержание волокнистой добавки влияет на основные технические характеристики смеси. Добавление волокна создает армирующий каркас, который необходим для поддержания прочности композита.

Таблица 1.25

**Технические свойства аэрированных растворов на высокопрочном гипсовом вяжущем (гипс ГВВС-16)**

Наименование	Г : З = 1:1 (по объему) + 4 % фибры			
Вид пористого заполнителя	Вспученный вермикулит	Вспученный перлит	Керамзит	Пенополистирол (ППС)
Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	685	720	780	470
Предел прочности при сжатии, МПа	5,4	4,1	6,0	2,1
Предел прочности при изгибе, МПа	1,42	1,66	1,19	0,81
Коэффициент конструктивного качества, ККК, $\times 10^3$	7,9	5,7	7,7	4,5

Исследования показывают, что применение различных вяжущих влияет на основные технические характеристики композита. Применение функциональной добавки позволило улучшить качества растворной смеси.

Таблица 1.26

**Технические свойства аэрированных растворов на гипсовом вяжущем (гипс Г-6)**

Наименование	Г : 3 = 1:1 (по объему) + 4 % фибры			
	Вспученный вермикулит	Вспученный перлит	Керамзит	Пенополистирол (ППС)
Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	695	735	775	480
Предел прочности при сжатии, МПа	5,1	3,5	4,8	1,7
Предел прочности при изгибе, МПа	1,32	1,54	1,05	0,72
Коэффициент конструктивного качества, ККК, × 10 <sup>3</sup>	7,3	4,8	6,2	3,5

Предел прочности на изгиб ( $R_{изг}$ , МПа) у образцов на вспученном перлите оказался наиболее высоким. Однако коэффициент конструктивного качества у образцов на вспученном вермикулите оказался выше.

Увеличение количества перлита в растворной смеси уменьшает ее водопотребность. Применение воздухоовлекающей добавки Silipon RN 0818 совместно со скоростным перемешиванием позволяет увеличить выход смеси на 15–20 % за счет интенсивного воздухоовлечения, тем самым уменьшая расход компонентов на 1 м<sup>3</sup> смеси.

Таблица 1.27

**Технические свойства аэрированных растворов на высокопрочном гипсовом вяжущем (гипс ГВВС-16)**

Наименование	Г : 3 =1:1 (по объему) + 2 % фибры			
	Вспученный вермикулит	Вспученный перлит	Керамзит	Пенополистирол (ППС)
Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	695	735	795	510
Предел прочности при сжатии, МПа	6,8	5,4	6,9	3,2

Окончание табл. 1.27

Наименование	Г : 3 = 1:1 (по объему) + 2 % фибры			
	Вспученный вермикулит	Вспученный перлит	Керамзит	Пенополистирол (ППС)
Предел прочности при изгибе, МПа	1,69	1,96	1,64	1,21
Коэффициент конструктивного качества, ККК, $\times 10^3$	9,9	7,3	8,7	6,3

Таблица 1.28

**Технические свойства аэрированных растворов на гипсовом вяжущем (гипс Г-6)**

Наименование	Г : 3 = 1:1 (по объему) + 2 % фибры			
	Вспученный вермикулит	Вспученный перлит	Керамзит	Пенополистирол (ППС)
Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	685	750	785	480
Предел прочности при сжатии, МПа	6,4	4,9	6,2	2,8
Предел прочности при изгибе, МПа	1,49	1,67	1,48	1,08
Коэффициент конструктивного качества, ККК, $\times 10^3$	9,3	6,5	7,9	5,8

Таблица 1.29

**Технические свойства аэрированных растворов на высокопрочном гипсовом вяжущем (гипс ГВВС-16)**

Наименование	Г : 3 = 1:1 (по объему) + 1 % фибры			
	Вспученный вермикулит	Вспученный перлит	Керамзит	Пенополистирол (ППС)
Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	710	765	815	585

### 1.5. Теплоогнезащитные растворы

Окончание табл. 1.29

Наименование	Г : 3 = 1:1 (по объему) + 1 % фибры			
Вид пористого заполнителя	Вспученный вермикулит	Вспученный перлит	Керамзит	Пенополистирол (ППС)
Предел прочности при сжатии, МПа	10,1	7,3	10,5	3,1
Предел прочности при изгибе, МПа	2,25	3,14	2,28	1,71
Коэффициент конструктивного качества, ККК $\times 10^3$	14,2	9,5	12,9	5,3

Таблица 1.30

#### Технические свойства аэрированных растворов на гипсовом вяжущем (гипс Г-6)

Наименование	Г : 3 = 1:1 (по объему) + 0,5 % фибры			
Вид пористого заполнителя	Вспученный вермикулит	Вспученный перлит	Керамзит	Пенополистирол (ППС)
Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	715	765	820	595
Предел прочности при сжатии, МПа	8,6	6,9	10,8	3,6
Предел прочности при изгибе, МПа	2,24	2,61	2,17	1,67
Коэффициент конструктивного качества, ККК, $\times 10^3$	12,0	9,0	13,2	6,1

Лучшие результаты по показателю предела прочности получены на образцах с применением перлита и добавлением волокнистого наполнителя (фибрина) с процентным содержанием 0,5–1 %. Рост коэффициента конструктивного качества в сравнении с образцами без применения фибры составил в среднем 5–12 %.

Зависимость прочности от процента армирования для растворов на различных типах гипсовых вяжущих представлена на рис. 1.24, 1.25.

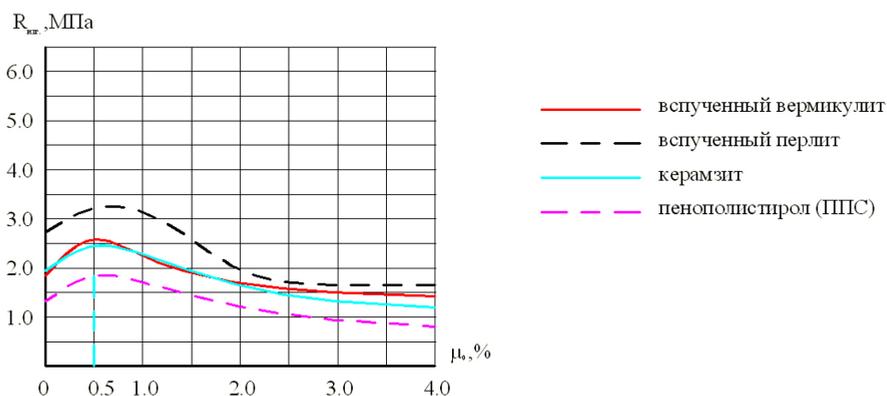


Рис. 1.24. Зависимость прочности на изгиб ( $R_{изг}$ , МПа) от процента армирования ( $\mu$ , %) для растворов на гипсовом вяжущем (гипс ГВВС-16)

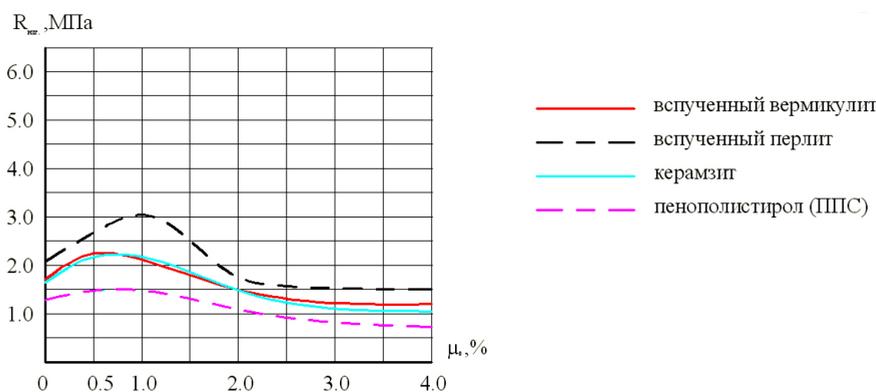


Рис. 1.25. Зависимость прочности на изгиб ( $R_{изг}$ , МПа) от процента армирования ( $\mu$ , %) для растворов на гипсовом вяжущем (гипс Г-6)

На рис. 1.26 и 1.27 представлена зависимость коэффициента конструктивного качества от процента армирования ( $\mu$ , %) для растворов с использованием пористых заполнителей на различных вяжущих.

Анализ данных, приведенных в технической литературе, и опыт работ, накопленный кафедрой технологии строительных материалов и метрологии СПбГАСУ [89], показывает, что свойства композита с применением фибр находятся в прямой зависимости от упругопластических характеристик используемых фибр и прочности сцепления на поверхности раздела компонентов. Поэтому посредством назначения армирующих волокон с определенными параметрами можно целенаправленно воздействовать на структуру и свойства строительного композита.

### 1.5. Теплоогнезащитные растворы

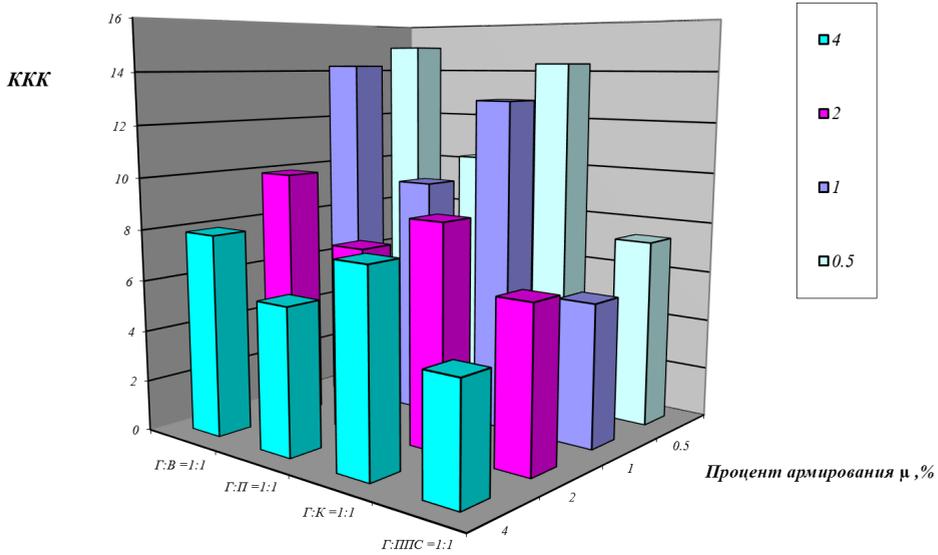


Рис. 1.26. Зависимость коэффициента конструктивного качества от процента армирования ( $\mu$ , %) для растворов с использованием пористых заполнителей на гипсовом вяжущем (гипс ГВВС-16)

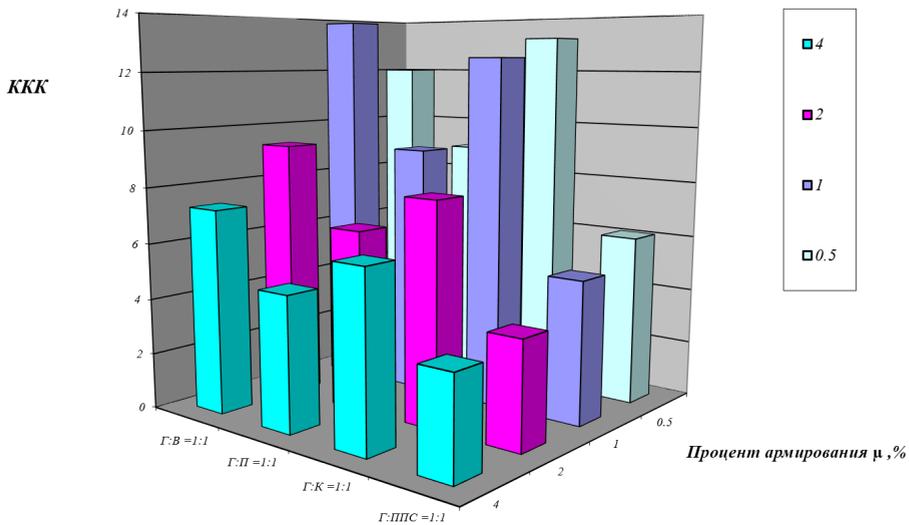


Рис. 1.27. Зависимость коэффициента конструктивного качества от процента армирования ( $\mu_0$ , %) для растворов с использованием пористых заполнителей на гипсовом вяжущем (гипс Г-6)

Результаты проводимых до настоящего времени исследований показывают, что дисперсное армирование в зависимости от вида и типоразмера применяемых волокон может существенно улучшать определенные свойства бетона, оказывая при этом незначительное влияние на другие. Так, например, низко модульные волокна не оказывают существенного влияния на прочностные и деформативные характеристики исходного бетона. Однако они в большей степени влияют на формирование поровой структуры материала и повышают его ударостойкость.

Дисперсное армирование способствует формированию более мелких, преимущественно замкнутых пор по сравнению с неармированным бетоном. При этом степень влияния дисперсного армирования возрастает с уменьшением геометрических размеров фибр и увеличением их количественного содержания в смеси. Однако при достижении некоторого порогового значения концентрации фибр однородность их распределения в смеси ухудшается, образуются комки из волокон, не покрытые цементным тестом, что оказывает негативное влияние на поровую структуру материала.

Изучено поведение фрагментов огнезащитных экранов с армированием стеклотканью (рис. 1.28–1.31) на основе разработанных ССС в зависимости от их толщины и состава на экспериментальной установке, обеспечивающей рост температуры до 1100 °С в течение 180 мин.

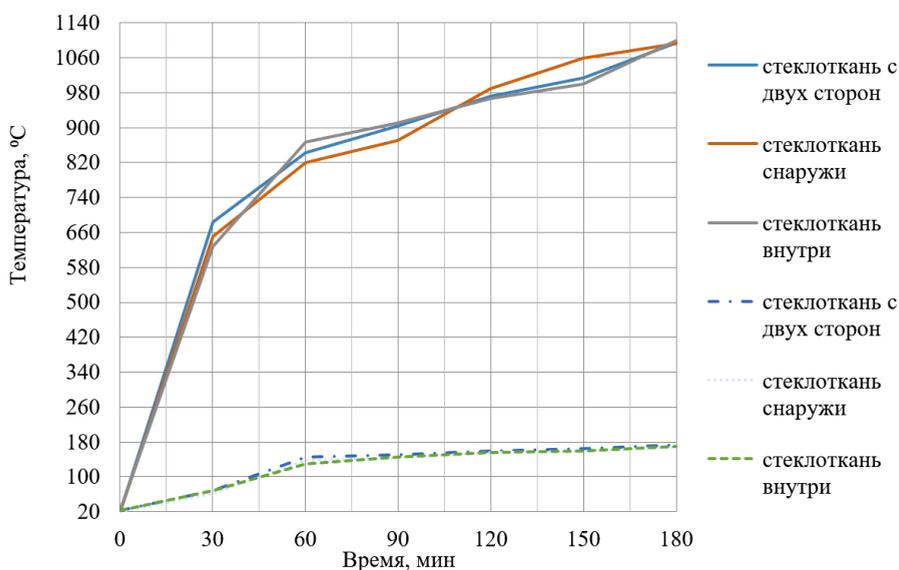


Рис. 1.28. Температурные кривые: огнезащитные экраны на гипсовом вяжущем с наполнителем (стеклоткань)

## 1.5. Теплоогнезащитные растворы

Стеклокань расположена с двух сторон:

прогиб<sub>max</sub> = 2,1 мм

усадка = 4,0 мм/пм



Стеклокань расположена одинарно изнутри:

прогиб<sub>max</sub> = 2,6 мм

усадка = 4,6 мм/пм



Стеклокань расположена одинарно снаружи:

прогиб<sub>max</sub> = 2,8 мм

усадка = 5,1 мм/пм



Рис. 1.29. Максимальные прогибы и общая линейная усадка



Рис. 1.30. Рабочий момент приготовления фрагментов огнезащитных экранов

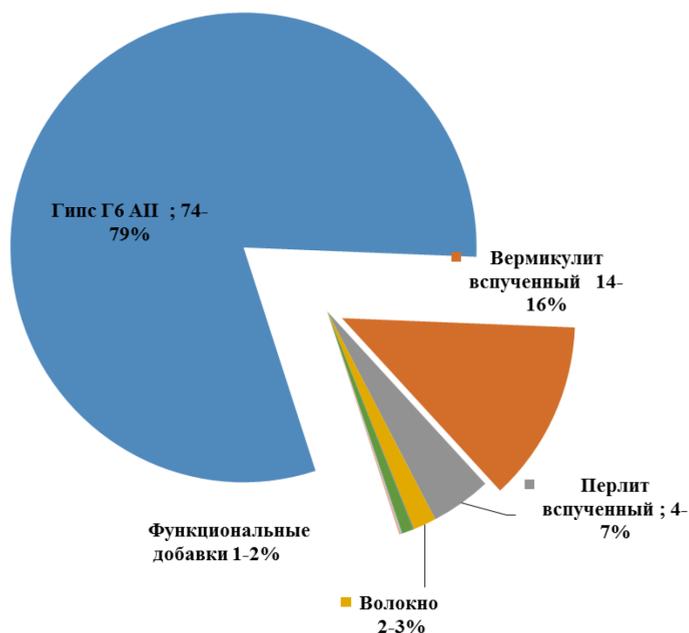


Рис. 1.31. Оптимальный состав огнезащитных экранов

Над этими фрагментами огнезащитных экранов с применением вспученных заполнителей и волокнистых добавок были проведены высокотемпературные испытания в лабораторной печи «Тулячка» по режиму, приближенному к режиму ВНИИПО на экспериментальной установке. Определялась температура на внешней стороне образца с помощью хромель-алюминиевой термопары, и фиксировалось появление трещин по достижении температуры 220 °С.

Высокотемпературные испытания показали, что температура на внешней от жерла печи стороне гипсовермикулитовых экранов толщиной 20 мм не превышает 180 °С (табл. 1.31–1.33).

Таблица 1.31

#### Рецептура огнезащитного состава

Компонент	Содержание, % от массы смеси
Гипс Г6 АП	74–79
Вермикулит вспученный	14–16
Перлит вспученный	4–7

### 1.5. Теплоогнезащитные растворы

Окончание табл. 1.31

Компонент	Содержание, % от массы смеси
Волокно	2–3
Замедлитель схватывания (винная кислота)	0,05–0,1
Редиспергируемый порошок Vinnapas 5010N	1–2
Загуститель Amitrolit 8882	0,1–0,2
Эфир целлюлозы Mecellose FMC 7150	0,15–0,2
Порообразователь Silipon 1880	0,02–0,03

Таблица 1.32

#### Свойства раствора ССС

Состав, по объему (гипс : вермикулит : перлит)	Свойства раствора		Свойства образцов после высокотемпературных воздействий		
	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности при сжатии, МПа	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности при сжатии, МПа	Объемная усадка
Г : В : П = 1:0,75:0,75	650	2,7	570	0,55	17

Таблица 1.33

#### Сводная таблица (фрагмент огнезащитных экранов)

№ экрана	Состав	$t_{\text{max}}$ испытания, °С	$t^{\circ}$ снаружи, °С	Расположение стеклоткани	Прогиб $\text{max}^{\circ}$ , мм	Усадочные деформации, мм/мм
1	Г : В : П = = 1:0,75:0,75 по объему	1100	174	С двух сторон	2,1	4,0
2		1100	170	Одинарно изнутри	2,6	4,6
3		1100	168	Одинарно снаружи	2,5	5,1

Проведенные высокотемпературные испытания фрагментов гипсовермикулитовых огнезащитных экранов в лабораторной печи по режиму, приближенному к режиму печи ВНИИПО размером  $20 \times 20 \times 2$  см, выполненных на основе ССС, разработанных на кафедре технологий строительных материалов и метрологии СПбГАСУ, подтвердили их высокую огнезащитную эффективность. В течение трех часов испытаний при максимальной температуре  $1100^\circ\text{C}$  температура на противоположной от печи стороне экрана не превысила  $180^\circ\text{C}$  без образования видимых трещин.

Из трех испытанных образцов наиболее оптимальным оказался образец с двусторонним покрытием стеклоткани с защитным слоем 3–5 мм.

Это значит, что такие огнезащитные экраны могут использоваться в реальной практике (прил. 1, 2).

## **1.6. Исследование влияния аэрирования на технические свойства ССС**

Основной задачей данного исследования является снижение плотности раствора образцов ССС при сохранении уровня прочности или значительное увеличение прочности с сохранением плотности раствора. Теоретически возможно увеличить прочностные характеристики, что в дальнейшем позволит повысить содержание легкого заполнителя, благодаря этому вырастет конечная средняя плотность при сохранении прочности при сжатии на том же уровне.

В качестве добавки использовался Castament FS 10 – диспергатор и суперпластификатор нового поколения на основе поликарбоксилатов. Дозировка добавки от 0,05 до 0,5 % от всей массы бетонной смеси. Используется в качестве водоредуцирующей добавки в огнестойких материалах на основе портландцемента/глиноземистого цемента с целью повышения прочности.

В данном исследовании использовали пять различных дозировок с целью определить оптимальную. В качестве эталона был взят состав № 6 (табл. 1.34).

Был определен оптимальный состав № 3, в котором заметно увеличение прочности на сжатие на 9 % при одном уровне плотности раствора, но коэффициент водостойкости снизился на 5 %. Данный результат является положительным, но дальнейшее исследование и поведение высокотемпературных испытаний проводить не целесообразно в связи с высокой погрешностью в данных испытаниях.

На теплозащитные свойства штукатурных композитов значимое влияние оказывает средняя плотность готового изделия, которую можно аэрировать путем искусственной поризации формовочной смеси [2, 51].

## Свойства и составы штукатурных растворов с применением перлита

Состав № 6 с различным содержанием Castament FS 10, %	Свойства растворной смеси		Свойства раствора ГЦПВ			
	ВВ/Г	Подвижность растворной смеси по распылу кольца, см	Средняя плотность в возрасте 7 суток, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности при сжатии, МПа		Коэффициент водостойкости
				В возрасте 7 суток в сухом состоянии	В насыщенном водой состоянии в возрасте 7 суток	
0	0,65	165	952	3,53	2,48	0,65
0,1	0,63	165	976	3,65	2,56	0,70
0,2	0,61	165	979	3,85	2,68	0,70
0,3	0,59	165	1007	4,10	2,78	0,68
0,4	0,58	165	1052	4,35	2,89	0,66
0,5	0,55	165	1074	4,51	3,03	0,67

Исследовалось влияние скорости перемешивания на среднюю плотность и прочность на образцах состава: ГЦПВ : вспученный вермикулит : вспученный перлит = 1:1:0,5 по объему. Сухая смесь компонентов затворялась водой, и перемешивание происходило с помощью высокоскоростного миксера со скоростью до 800 об/мин.

Для поризации применялась воздухововлекающая добавка Esaron 1214 в количестве 0,05 % от массы вяжущего. При скоростном перемешивании происходит объемное воздухововлечение в растворную смесь [54]. Достигалась подвижность смеси (распыл конуса) 155–165 мм. В качестве армирующей добавки применялось стекловолокно. Изготовленные образцы сушились в сушильном шкафу при  $t < 60$  °С. Результаты представлены в табл. 1.35.

Перемешивание со скоростью 600 об/мин позволяет увеличить выход смеси в среднем на 15 % по сравнению с перемешиванием со скоростью 60 об/мин с применением воздухововлекающей добавки (рис. 1.32).

Таблица 1.35

## Влияние аэрирования на свойства тепло- и огнезащитных ССС

Состав	Состав № 10 + Esapon 1214 0,05%
Скорость перемешивания 60 об/мин	
Ср. плотность, кг/м <sup>3</sup>	770
Предел прочности при сжатии, МПа	1,69
Скорость перемешивания 240 об/мин	
Ср. плотность, кг/м <sup>3</sup>	735
Предел прочности при сжатии, МПа	1,36
Скорость перемешивания 600 об/мин	

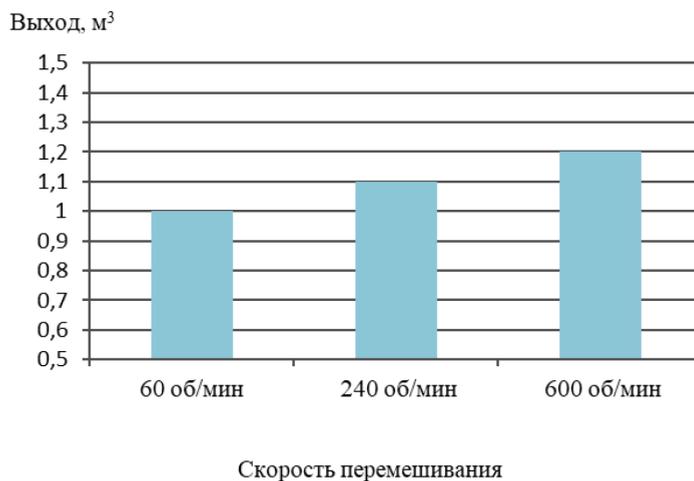


Рис. 1.32. Выход растворной смеси в зависимости от скорости перемешивания

При увеличении скорости перемешивания значительно уменьшается средняя плотность образцов, за счет чего улучшаются теплоизоляционные свойства составов. Плотность образцов одного и того же состава при перемешивании со скоростью 60 об/мин составила 770 кг/м<sup>3</sup>, при 600 об/мин – 705 кг/м<sup>3</sup>. Снижение средней плотности при скоростном перемешивании составило около 15 % от плотности при перемешивании со скоростью 60 об/мин (рис. 1.33). Снижение коэффициента конструктивного качества составило в среднем 6 %.

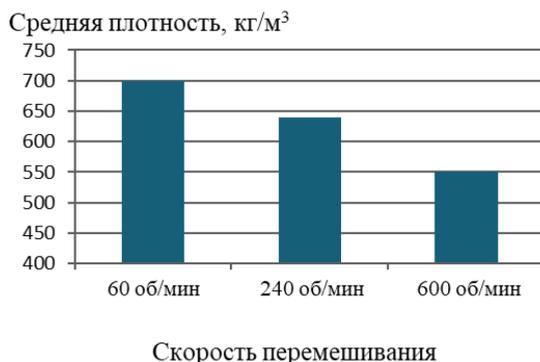


Рис. 1.33. Средняя плотность растворной смеси в зависимости от скорости перемешивания

При проведении испытаний производился расчет выхода растворной смеси, полученного в результате каждого замеса. Исходя из этих опытных данных, были рассчитаны потребности компонентов на 1 м<sup>3</sup> растворной смеси (табл. 1.36).

Таблица 1.36

**Характеристика оптимальной ССС на перлите и вермикулите.  
Скорость перемешивания 600 об/мин**

Состав ССС (по объему)	Содержание компонентов по массе, %				В/Т	Свойства раствора		
	ГЦПВ	Вермикулит вспуч.	Перлит вспуч.	Стекло фибра		$\rho_0$ , кг/м <sup>3</sup>	$R_{сж}$ , МПа	$R_{изл}$ , МПа
ГЦПВ : В = 1:1,5 + Esapon 1214 0,05 %	79,9	18,6	–	1,5	1,03	625	0,95	0,42
ГЦПВ : П = 1:2 + Esapon 1214 0,05 %	80,1	–	17,4	2,5	0,87	705	1,15	0,6

Увеличение количества перлита в растворной смеси уменьшает ее водопотребность. Применение воздухововлекающей добавки Esapon 1214 со скоростным перемешиванием позволяет увеличить выход смеси на 15–20 % за счет интенсивного воздухововлечения, тем самым уменьшая расход компонентов.

### **Определение свойств составов со вспученным перлитом и вермикулитом**

Были подобраны составы огнестойких ССС, рецептуры которых представлены в табл. 1.37, с добавлением такого количества добавок, которое рекомендовано производителем на основе вспученного перлита и вспученного вермикулита с добавлением микрокремнезема МК-5.

Таблица 1.37

**Рецептуры оптимальных огнестойких водостойких ССС на основе ГЦПВ с различными заполнителями**

Компоненты смеси	Содержание, % от массы смеси	
	Состав на основе перлита	Состав на основе вермикулита
ГЦПВ	80–84	78–82
МКУ-85	1,5–2,0	1,5–2,0
Перлит вспученный	16–18	17–19
Эфир крахмала Berolan ST 700	0,03–0,05	0,03–0,05
Порообразователь Esapon 1214	0,03–0,06	0,03–0,06
Лимонная кислота	0,2–0,3	0,2–0,3

Были проведены сравнительные испытания составов с добавлением микрокремнезема и без. В составы с микрокремнеземом добавлялся эфир крахмала Berolan ST 700 для регулирования плотности раствора и растворной смеси, так как микрокремнезем служит также пастифицирующей добавкой и снижает В/Т, тем самым уплотняя композит. Данные составы были подвержены огневым испытаниям в муфельной печи. Результаты испытаний отражены в табл. 1.38.

По данным результатам испытаний видно, что при добавлении микрокремнезема происходит увеличение прочности на сжатие на 22 и 25 % для составов с перлитом и вермикулитом соответственно. Также есть незначительное улучшение коэффициента водостойкости на 5–7 % при одном уровне плотности раствора.

Таблица 1.38

**Результаты испытаний составов на основе перлита и вермикулита  
с добавлением микрокремнезема**

Составы В/Т	Свойства растворной смеси		Свойства раствора				Коэффициент водостойкости
	RT	Подвижность растворной смеси по распылу кольца, см	Средняя плотность в возрасте 7 суток, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности при сжатии, МПа		ККК	
				В возрасте 7 суток в сухом состоянии	В насыщенном водой состоянии 7 суток		
№ 3	1,05	165	694	1,44	0,67	2,08	0,46
№ 3 + модиф.	1,07	165	681	1,74	0,88	2,56	0,50
№ 10	0,89	165	771	1,69	1,00	2,19	0,59
№ 10 + модиф.	0,9	165	747	2,06	1,28	2,75	0,62

После проведения предварительных испытаний и получения положительных результатов было решено отформовать огнезащитные экраны размером 20×20 см и кубики для определения остаточной прочности, затем образцы установили в печь для проверки на огнестойкость. Экран устанавливали в печь с зазором 2–3 мм, который впоследствии заполнялся каменной ватой, и швы прикрывались плотной тканью, как показано на рис. 1.34.



Рис. 1.34. Муфельная печь «Тулячка» – 10П

После проведения огневых испытаний образцы были проанализированы; полученные результаты указаны в табл. 1.39.

Таблица 1.39

**Свойства составов № 2 и № 10 после огневых испытаний**

Состав № 2 и № 10 + ряд добавок	Внешний вид образцов	Свойства раствора		
		Средняя плотность в возрасте 7 суток, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности при сжатии, МПа	Предел прочности при изгибе, МПа
№ 10 + 2 МКУ	Поверхность образцов ровная, без трещин и сколов	650	0,47	0,3
№ 2 + 2 МКУ	Поверхность образцов ровная, без трещин и сколов	540	0,24	0,15

Проанализировав данные результаты, в первую очередь следует заметить, что все испытываемые образцы в печи выдержали обжиг до 1100 °С. Принцип действия был следующий: производился запуск муфельной печи и контроллера с датчиком температуры (термопары), и отслеживалось время с интервалом 15 мин внутри печи и снаружи. Экраны, изготовленные из данных составов, не растрескались и не разрушились, о чем свидетельствует наличие остаточной прочности.



Рис. 1.35. Измеритель температуры микропроцессорный «ОВЕН 2ТРМО-Щ1.У» и блок программного управления муфельной печью

Для высокотемпературных испытаний фрагментов огнезащитных экранов нами была смонтирована экспериментальная установка, включающая муфельную печь и систему для измерения температуры на внешней стороне образца, состоявшую из микропроцессорного измерителя температуры 2ТРМО-Щ1.У и термоэлектрического преобразователя ТХА-148 (рис. 1.35).

В муфельной печи в лаборатории развивался стандартный режим нагревания. В течение часа печь разогревалась до 900 °С. Далее образцы выдерживались в печи три часа. На графиках ниже представлены две кривые: стандартная кривая ВНИИПО и кривая проведенного эксперимента (рис. 1.36).

В результате испытаний образцы на перлите покрылись сетью трещин, а вермикулитовые образцы сохранили целостность. Но при дальнейшем воздействии воды образцы разрушились. Это произошло потому, что гипс при  $t = 850$  °С частично разлагается на оксид кальция и сернистый газ. В свою очередь, оксид кальция гасится водой (например, водой при тушении пожара), реакция протекает взрывообразно, материал разрушается.

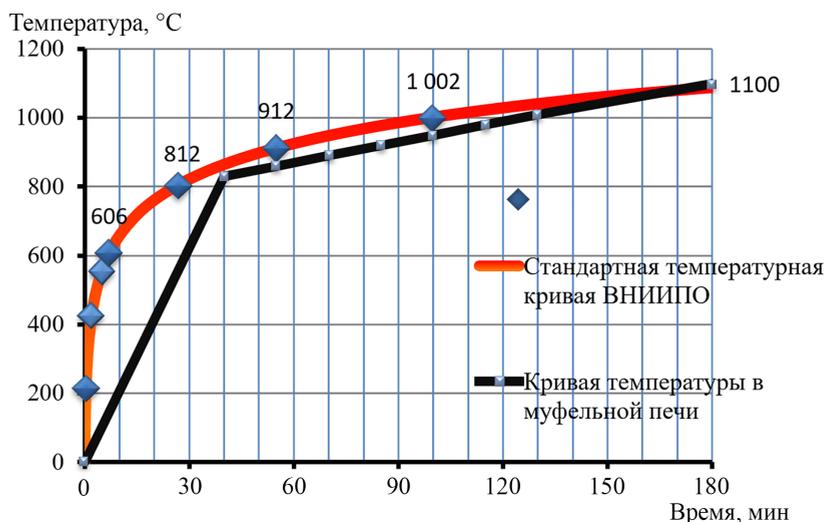
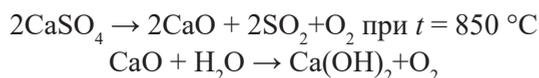


Рис. 1.36. Кривые времени и температуры печи при высокотемпературных испытаниях



Для предотвращения такой реакции следует заменить гипс на другое вяжущее (например, на глиноземистый цемент или гипсоцементно-пуццолановое вяжущее (ГЦПВ)). Также возможно использование добавок, которые химически связывали бы выделяющийся при высоких температурах оксид кальция, чтобы избежать разрушения материала. В качестве такой добавки возможно использование тонкомолотого перлита, содержащего 65–70 % аморфного кремнезема.

Температурный режим нагрева лабораторной печи приближен к стандартному температурному режиму ВНИИПО (см. рис. 1.36). В течение 180 мин температура печи достигала 1100 °С, при этом резкий подъем температуры до 800 °С достигался в течение первых 40 мин.

### **Результаты высокотемпературных испытаний**

Гипсоперлитовермикулитовые фрагменты огнезащитных экранов размером 18×20 см и толщиной 20 мм с применением вспученных заполнителей и волокнистых добавок испытывались на температурное воздействие в муфельной печи по режиму, приближенному к режиму ВНИИПО.

Температура на внешней от огня стороне в гипсовермикулитовой панели не превысила 220 °С на протяжении 180 мин испытаний с максимальной температурой 1100 °С, при этом сохранилась целостность изделия. В то же время гипсовый камень без добавок наполнителей и заполнителей покрылся трещинами после испытания в печи в течение 90 мин.

Применение добавок кембрийской глины и перлита-сырца позволило уменьшить усадочные деформации во время высокотемпературных испытаний на 25 % и увеличить прочность обожженных образцов.

Исследуемые составы сухих смесей были использованы для изготовления фрагментов огнезащитных экранов. Высокотемпературные испытания фрагментов экранов проводились в лабораторной печи согласно ГОСТ 30247.0–94 «Конструкции строительные. Методы испытания на огнестойкость. Общие требования».

Температурный режим нагрева лабораторной печи приближен к стандартному режиму ВНИИПО, температура 800 °С достигается через 40 мин, а далее в течение еще 140 мин до 1100 °С (рис. 1.37). Температура на внешней от печи стороне образца измерялась микропроцессорным измерителем 2ТРМО-Щ1.У с помощью теромопара.

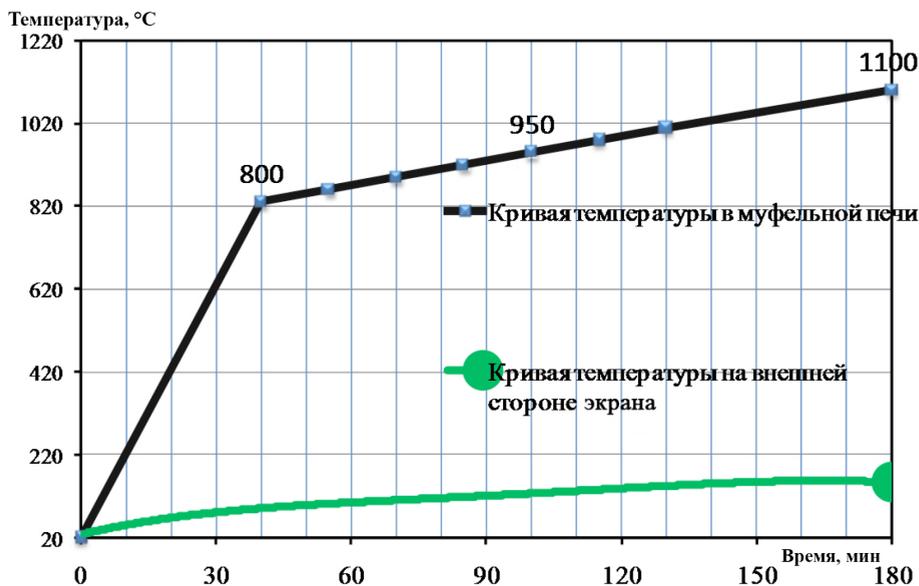


Рис. 1.37. Кривая нагрева гипсовермикулитового фрагмента экрана со стекловолокнистым наполнителем

Сравнительные испытания фрагментов гипсового сердечника толщиной 20 мм и фрагмента гипсовермикулитового экрана с добавкой асбеста 2 % показало, что предел огнестойкости первого – 60 мин по образованию трещин (рис. 1.38), а предел огнестойкости второго – 180 мин с сохранением целостности (рис. 1.39).



Рис. 1.38. Фрагмент гипсового экрана ГКЛ толщиной 20 мм после нагрева до 900 °С



Рис. 1.39. Фрагмент гипсовермикулитового экрана толщиной 20 мм после нагрева до 1100 °С

Образцы со вспученным перлитом после обжига покрываются трещинами (см. рис. 1.38). Характер образования трещин коррелирует с данными немецких коллег [5]. При том же температурном режиме образцы со вспученным вермикулитом сохраняют целостность за счет упругих зерен вермикулита.

Исходя из данных табл. 1.40 следует отметить, что состав на основе перлита выдержал высокотемпературные испытания в муфельной лабораторной печи по режиму печи ВНИИПО, при котором температура достигала 930 °С. Предел огнестойкости в данном случае измеряется в минутах и равен 120. Состав на основе вермикулита так же прошел высокотемпературные испытания в муфельной лабораторной печи по режиму печи ВНИИПО, при котором температура достигала 840 °С. Предел по огнестойкости равен 75 мин.

Растворная смесь из данных составов имеет хорошую водоудерживающую способность (более 95 %), легко заглаживается лопаткой/шпателем. Наличие мелкозернистого вспученного перлита пластифицирует смесь и делает поверхность ровной и гладкой, примененные штукатурные растворы из ССС хорошо пропускают пар из помещения (стена дышит), что улучшает микроклимат внутри помещения в отличие от тяжелых штукатурных растворов.

**Технические свойства огнезащитной ССС на вспученном вермикулите  
и перлите с применением функциональных добавок**

Измеряемый параметр	Методика испытаний состава	Результаты испытаний состава с перлитом	Результаты испытаний состава с вермикулитом
Цвет	Визуально	Бежевый	Бежевый
Влажность ССС, % по массе	ГОСТ 31376–2008	0,2	0,2
Содержание зерен размером: 1,25 мм 0,2 мм 0,125 мм	ГОСТ 31376–2008	15 2 0,3	67 6 3
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	ГОСТ 5802–86	360	450
Подвижность растворной смеси, мм	ГОСТ 31376–2008	165	165
Плотность растворной смеси, кг/м <sup>3</sup>	ГОСТ 31376–2008	1200	1150
Жизнестойкость растворной смеси (начало схватывания), мин	ГОСТ 31376–2008	60	60
Водоудерживающая способность растворной смеси, %	ГОСТ 31376–2008	95	95
Средняя плотность раствора, кг/м <sup>3</sup>	ГОСТ 5802–86	747	681
Истинная плотность, г/см <sup>3</sup>	ГОСТ 25898–83	2,64	2,64
Истинная пористость, %	ГОСТ 25898–83	75	75
Предел прочности при сжатии, МПа	ГОСТ 31376–2008	2,06	1,74

Измеряемый параметр	Методика испытаний состава	Результаты испытаний состава с перлитом	Результаты испытаний состава с вермикулитом
Предел прочности при изгибе	ГОСТ 31376–2008	1,35	0,96
Адгезия к бетонному основанию, МПа	ГОСТ 31376–2008	0,30	0,30
Класс горючести	ГОСТ 30244–94	НГ – негорючий	НГ – негорючий
Класс пожарной опасности		КМО	КМО

Технические характеристики разработанной огнезащитной ССС соответствуют требованиям ГОСТ 31377–2008 «Смеси сухие строительные штукатурные на гипсовом вяжущем».

### ***Рентгенофазовый и дифференциально-термический анализ***

В рамках данного исследования был проведен рентгенофазовый анализ (РФА).

РФА образцов методом порошковой дифракции делался на рентгеновском дифрактометре BRUKER D2 PHASER. Тонкость помола образцов – 0,063 мм. Определение входящих в состав минералов производилось по рентгенотеке программы Qualitative Analysis.

Дифрактограмма образцов ССС с применением микрокремнезема представлена на рис. 1.40–1.46.

После расшифровки дифрактограмм образцов после высокотемпературных испытаний можно сделать вывод, что все образцы имеют один тип состава. После добавления микрокремнезема фазовый состав не изменился. Свободной извести в составах не имеется. В данных образцах после высокотемпературных испытаний идентифицированы следующие минералы (табл. 1.41).

Было проведено рентгенографическое исследование образцов составов после обжига методом порошковой дифракции на рентгеновском дифрактометре ДРОН-7. Тонкость помола образцов – 0,063 мм.

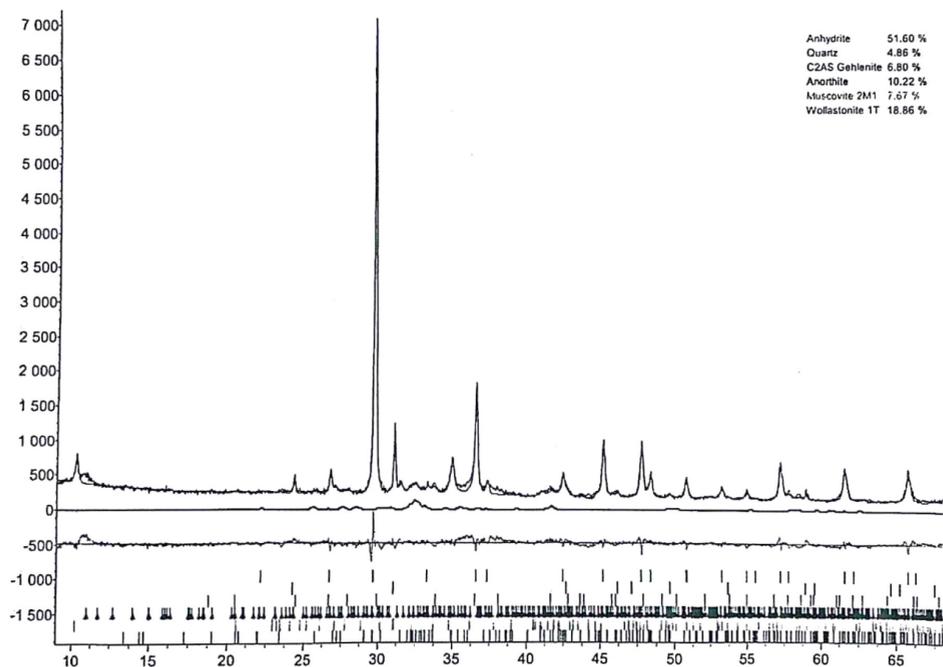


Рис. 1.40. Дифрактограмма образца № 1 (ГЦПВ : вермикулит = 1:1,5)

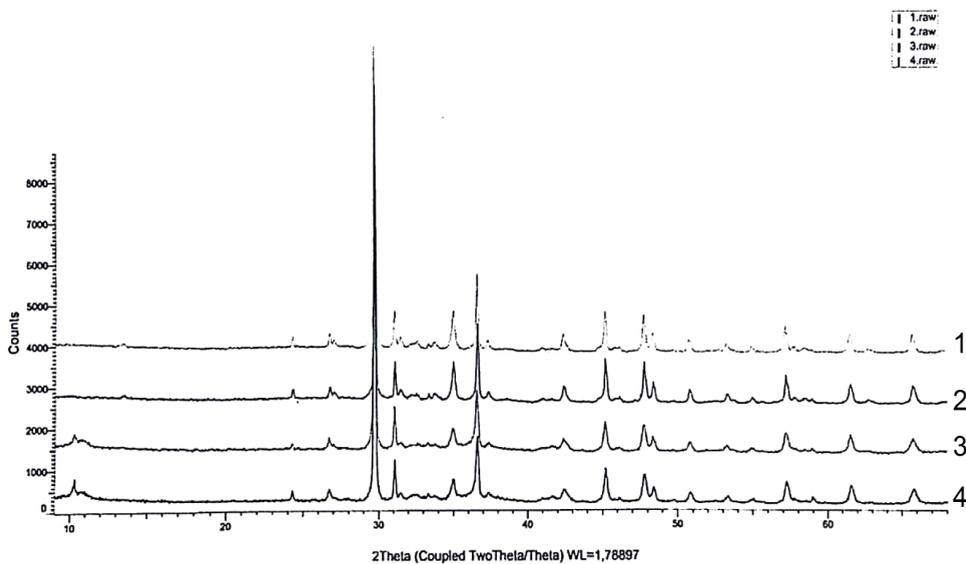


Рис. 1.41. Дифрактограмма сравнения (сверху вниз номера образцов в порядке возрастания)

Таблица 1.41

**Концентрация минералов в % в исследованных образцах  
после высокотемпературного воздействия 1100 °С**

Наименование минерала	Процентное содержание, %
Ангидрит	51,6
Кварц	4,86
Геленит (C2AS)	6,8
Анортит	10,22
Мусковит	7,67
Волластанит	18,86

Таблица 1.42

**Концентрация минералов в % в исследованных образцах**

Наименование минерала	Образец № 1	Образец № 2	Образец № 3	Образец № 4	Образец № 5
Ангидрит	94,19 %	41,61 %	30,83 %	60,48 %	37,86 %
Кварц	3,15 %	2,1 %			
Мелилит	1,18 %	10,32 %			1,56 %
Слюдистые минералы	1,48 %	20,19 %	44,43 %	12 %	61,06 %
Иллит		10,46 %	7,5 %		
Муллит		15,31 %	27,76 %		14,21 %
Воллостонит		4,13 %	24,74 %	27,52 %	46,85 %

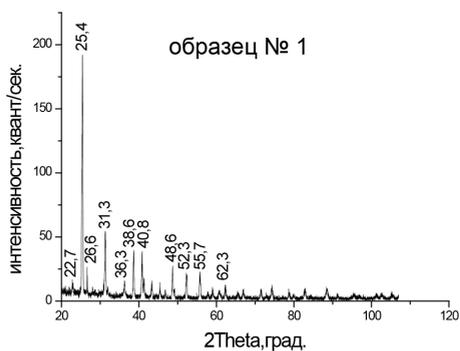


Рис. 1.42. Дифрактограмма образца № 1  
(гипс : вермикулит = 1:1,5)

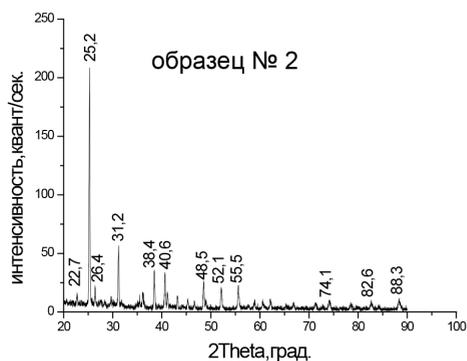


Рис. 1.43. Дифрактограмма образца № 2  
(гипс : вермикулит = 1:1,5 + 20 %  
кембрийской глины)

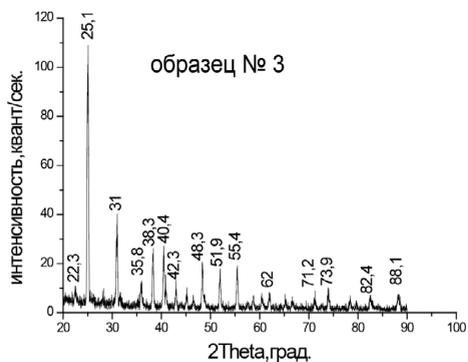


Рис. 1.44. Дифрактограмма образца № 3  
(гипс : вермикулит = 1:1,5 + 20 %  
перлита-сырца)

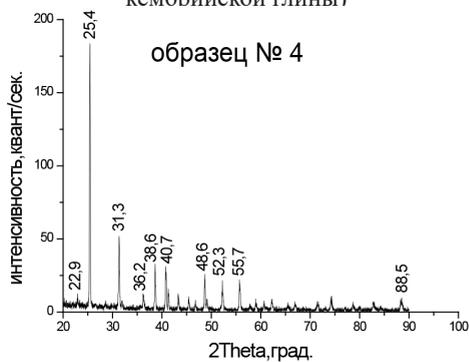


Рис. 1.45. Дифрактограмма образца № 4  
(гипс : вермикулит : перлит = 1:0,75:0,75)

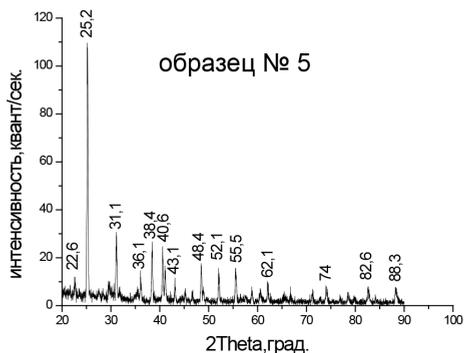


Рис. 1.46. Дифрактограмма образца № 5  
(гипс : вермикулит = 1:1,5 + 20 % жидкого стекла)

Рентгенофазовый анализ позволил исследовать состав минералов, входящих в состав сухой смеси, после огневых испытаний. В табл. 1.42 представлены концентрации минералов в % от их общей массы.

Краткий анализ результатов рентгенографического исследования показал, что оксид кальция в кристаллической фазе не идентифицирован. Следовательно, при тушении пожара водой не произойдет гашения оксида кальция и перехода в гидроксид кальция с разрушением материала. Это положительно скажется на целостности огнезащитного материала. В образце № 2, содержащем кембрийскую глину, обнаружен муллит, что объясняет частичное спекание материала, что также повышает водостойкость. В образцах № 3, 4, содержащих перлит, обнаружен воллостанит – метасиликат кальция. Можно предположить, что ангидрит частично разложился с образованием оксида кальция, который химически связался в метасиликат кальция.

Исследования велись с применением гипсового вяжущего, которое отличается быстротой схватывания и твердения. Это экологически чистый, негорючий (НГ) материал, температуростойкий. Испытания показали, что введение в состав гипсосодержащих композитов в различных сочетаниях вермикулита и перлита, а также применение приема аэрирования (скоростное перемешивание смеси с обильным воздухововлечением) положительно сказываются на их технических свойствах. Лучшие результаты получены с применением минеральных волокнистых наполнителей. Например, составы, содержащие строительный гипс, вспученный вермикулит и стеклофибру. Как показали исследования, применение в качестве заполнителя вспученного вермикулита в гипсосодержащих композициях более целесообразно, чем вспученного перлита. Получены растворы со средней плотностью 450–680 кг/м<sup>3</sup>. Минимальные усадочные деформации после температурного воздействия до 1100 °С установлены у вермикулитосодержащих составов.

Определено влияние скорости перемешивания растворной смеси на плотность штукатурного раствора. За счет увеличения скорости перемешивания до 600 об/мин в присутствии воздухововлекающей добавки достигнуто снижение плотности с 700 до 550 кг/м<sup>3</sup>.

Установлено, что гипсоперлитовые смеси отличаются повышенной подвижностью, удобоукладываемостью в сравнении с гипсовермикулитовыми. Вододерживающая способность оптимальных составов более 95 %.

Анализ дифрактограмм показал отсутствие оксида кальция в кристаллической фазе. В составах, содержащих кембрийскую глину, идентифицирован муллит, а в перлитосодержащих обнаружен воллостанит.

Проведены сравнительные высокотемпературные испытания гипсового сердечника, гипсоперлитовых и гипсовермикулитовых плиток. Лучший результат (предел огнестойкости 180 мин) получен на составе, содержащем строительный гипс, вспученный вермикулит, стеклофибру.

### ***Влияние отражательной способности вспученного вермикулита и перлита на их теплопроводность и огнезащитные свойства***

Отражательная способность вспученного вермикулита и перлита оценивалась интегральным коэффициентом отражения ( $T$ ), представляющим собой отношение потока световых лучей, отраженного данным телом, к потоку света, падающего на него, и выражается в процентах. Он измерялся на спектрофотометре СФ-18 в видимом световом спектре, то есть с длиной волны  $\lambda$ , равной 400–700 нм на образцах вспученного вермикулита и перлита, неокрашенных и окрашенных в черный цвет [127].

Исследование зависимости отражательной способности вспученных заполнителей от цвета их частиц производилось по следующей методике. Вспученный вермикулит (золотистый цвет) или вспученный перлит (беловато-серый цвет) объемом 100 см<sup>3</sup> насыпался в марлевый мешочек и опускался в черную тушь. Окраска частиц вспученного заполнителя производилась в течение 15 мин. После этого он высушивался при 100–105 °С до постоянной массы и помещался в спектрограф с Ф-18.

Результаты испытаний (табл. 1.43, рис. 1.47) подтверждают, что теплопроводность вспученного вермикулита зависит от коэффициента отражения материала, то есть от цвета его частиц и рельефа их поверхности.

Таблица 1.43

**Теплопроводность вспученного вермикулита  
(обычного и окрашенного в черный цвет)**

Цвет вермикулита	Фракции, мм	Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Теплопроводность, Вт/м · К) определяемая	
			зондовым методом [179]	бикалориметром ПБ-БЗ [70]
Золотистый	2,5–5,0	145	0,073	0,080

Цвет вермикулита	Фракции, мм	Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Теплопроводность, Вт/м · К) определяемая	
			зондовым методом [179]	бикалориметром ПБ-БЗ [70]
Черный			0,085	0,086
Золотистый	1,25–2,5	175	0,066	0,080
Черный			0,076	0,085
Золотистый	0,63–1,25	200	0,072	0,079
Черный			0,080	0,088

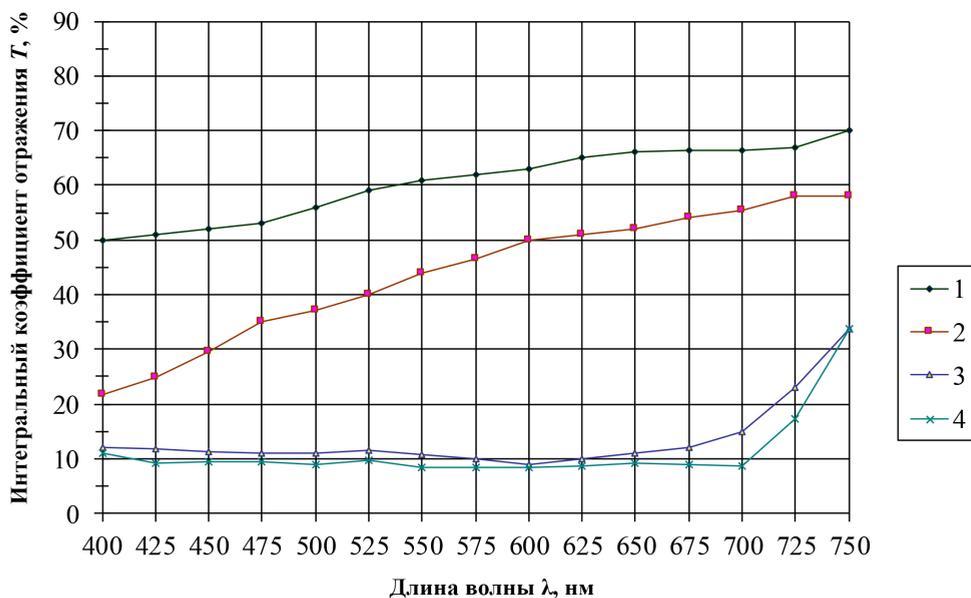


Рис. 1.47. Зависимость коэффициента отражения от длины световой волны испущенного вермикулита (перлита) фракции 0,14–0,315 мм: 1 – вспученный вермикулит; 2 – вспученный перлит; 3 – вспученный вермикулит черный; 4 – вспученный перлит черный

Поскольку аппаратура по определению теплопроводности зондовым методом портативна, а объем требуемого материала для опыта в несколько раз меньше, в дальнейших опытах использовался этот метод [95].

Теплопроводность черного вермикулита при комнатной температуре больше по сравнению с неокрашенным золотистым в среднем на 10 % (рис. 1.48).

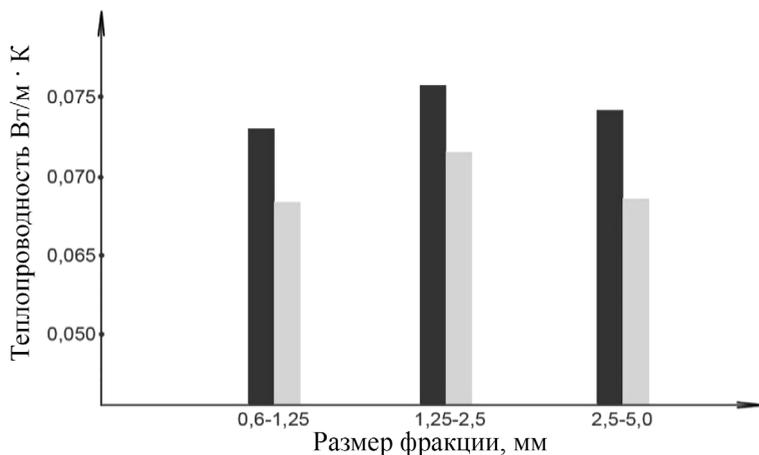


Рис. 1.48. Зависимость теплопроводности вспученного вермикулита от цвета и размера его частиц: золотистый – серый на схеме; черный – черный на схеме

### ***Определение теплопроводности вспученных наполнителей в вакууме***

Как уже отмечалось, в пористом материале теплоперенос осуществляется конвекцией, кондукцией и лучеиспусканием. Для гетерогенных систем типа растворов и бетонов весьма сложно определить, какая доля передачи тепла осуществляется тем или иным видом теплообмена. В то же время для однородного сыпучего материала, такого как вспученный вермикулит или перлит, находящегося в сухом состоянии, эквивалентную теплопроводность ( $\lambda_{\text{ЭКВ}}$ ) можно представить как сумму:  $\lambda_1$  – доля передачи тепла твердой фазы (кондукция),  $\lambda_2$  – за счет конвекторной теплопередачи,  $\lambda_3$  – доля передачи тепла за счет теплопередачи лучеиспусканием ( $\lambda_4$  – теплопроводность частиц воздуха – величина ничтожно малая, в пределах погрешности измерения  $\lambda_{\text{ЭКВ}}$  приборами, – в работе не учитывалась).

В случае получения данных, позволяющих количественно оценить доли теплопередачи тепла в общем объеме теплопередачи, возможно определить оптимальные составы сыпучих материалов для наиболее эффективной работы обычной и вакуумной порошковой изоляции.

Для выявления доли передачи тепла (в общем потоке теплопередачи), переносимого конвекцией, определялась теплопроводность вспученных заполнителей при атмосферном давлении (на воздухе) и в вакууме. Измерение теплопроводности в вакууме производилось цилиндрическим зондом, помещенным в вакуумный шкаф СН ВС-45.34/3-И. Остаточное давление воздуха в рабочей камере измерялось термопарным вакуумметром ВТ-3 и составляло 1 мм рт. ст.

С целью получения глубокого вакуума в камере с исследуемым образцом (остаточное давление воздуха  $1 \cdot 10^{-3}$  мм рт. ст.) нами использовалась сконструированная сотрудниками кафедры физики ЛИСИ специальная установка, оборудованная паромасляным насосом [127].

Доля конвективной теплопроводности вспученных вермикулита и перлита в % рассчитывалась по формуле

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda - \lambda_{\text{вак}}}{\lambda} \cdot 100,$$

где  $\lambda$  – теплопроводность материала при атмосферном давлении, Вт/м · К,  $\lambda_{\text{вак}}$  – теплопроводность материала в вакууме, Вт/м · К.

### Результаты дифференциально-термического анализа

В рамках научного исследования [3] были проведены дифференциально-термический (ДТА) и рентгенофазовый анализы (РФА). ДТА образцов проводили в воздушной среде на дериватографе Q-1500 фирмы Paulik-Paulik-Erday в интервале температур 20–1000 °С (рис. 1.49, 1.50).

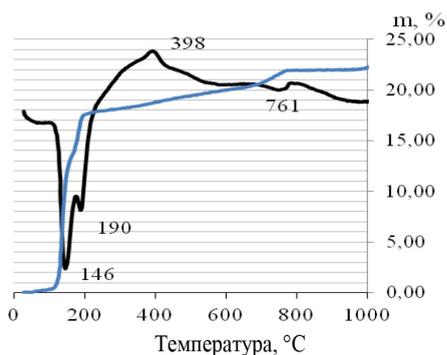


Рис. 1.49. Термограмма гипсового камня с добавкой перлита-сырца

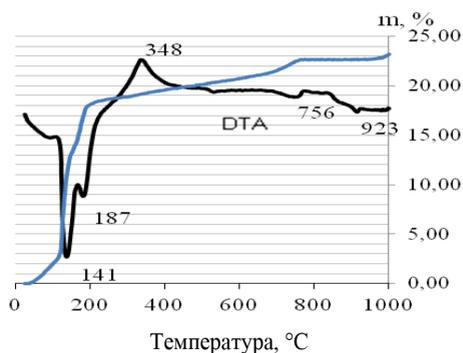


Рис. 1.50. Термограмма гипсового камня с добавкой кембрийской глины

В интервале температур 140–150 °С двухводный гипс дегидратирует до полуводного гипса, потеря в массе – 18,6 % (1-й эндоэффект). При повышении температуры до 170–190 °С наблюдается переход полугидрата сульфата кальция в обезвоженный полугидрат – потеря в массе 6,2 %. Суммарное удаление воды около 25 %. В интервале температур 340–400 °С образуется растворимый ангидрит (3-й экзоэффект). При температурах 450–800 °С он переходит в нерастворимый ангидрит. При 800–1000 °С предположительно происходит частичная диссоциация сернокислого кальция с появлением 2–3 % свободной извести, а также возможно ее связывание активными добавками. ДТА не показал появления новых веществ в присутствии минеральных добавок, поэтому для дальнейшего исследования возможных кристаллических новообразований был проведен РФА на дифрактометре ДРОН-7.

Установлено, что при температурном воздействии в 1100 °С температура всех образцов на стороне, противоположной температурному воздействию, не превышала 200 °С.

Авторами получен патент на изобретение № 2541989 от 19.01.2015 «Сухая строительная смесь огнезащитная». Материал относится к классу КМ0, что соответствует установкам ФЗ № 123 «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности, предъявляемых к конструкциям зданий повышенной пожарной безопасности».

## Выводы по главе 1

1. Установлено, что добавление микрокремнезема увеличивает прочность образцов на 20 % до огневых испытаний и на 50–100 % после. Составы на основе перлита и вермикулита имеют предел огнестойкости в 120 и 75 мин соответственно.

2. Исследовано влияние стекловолокна на состав огнестойкой ССС. Применение данной добавки позволяет увеличить прочность на сжатие испытываемых образцов на 15 %.

3. Было выявлено, что ускоренное перемешивание в миксере до 600 об/мин с использованием модифицированной воздухововлекающей добавки позволяет увеличить выход растворной смеси на 15 % по сравнению с приготовлением растворной смеси со скоростью перемешивания 60 об/мин и значительно снизить ее среднюю плотность, что связано с обильным воздухововлечением.

4. Проведено исследование влияния специальной добавки, повышающей коэффициент водостойкости огнестойкой ССС. За счет введения добавки были

увеличены пределы прочности на сжатие на 9 % при неизменном значении плотности раствора, но снизился коэффициент водостойкости на 5 %. Дальнейшее исследование было приостановлено из-за высокой погрешности в данных испытаниях.

5. Получены оптимальные составы огнестойких водостойких ССС на основе вспученного перлита и вермикулита с коэффициентом водостойкости 0,62 и пределом огнестойкости 120 и 75 мин соответственно.

Ранее приведенные технико-экономические расчеты доказали рентабельность производства разработанных огнестойких ССС, которые способны с легкостью конкурировать на рынке РФ.

## **Глава 2. АЭРИРОВАННЫЕ ЛЕГКИЕ БЕТОНЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЫСОКОПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ. ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА СТЕНОВЫХ КАМНЕЙ И ПЛИТ ПЕРЕГОРОДОК ИЗ НИХ**

### **2.1. Анализ технических свойств ячеистых бетонов и легких бетонов на пористых заполнителях**

Легкому бетону принадлежит важная роль в решении технической задачи по дальнейшему снижению массы возводимых зданий и уменьшению материалоемкости строительства. Наружные стены и покрытия из легких бетонов с низкой теплопроводностью сберегают тепло в помещениях и тем самым позволяют тратить меньше топлива и энергии на отопление зданий. Учитывая возросшие требования к стеновым материалам, в частности увеличение термического сопротивления ограждающих конструкций в три раза, эффективны легкие бетоны, которые позволяют решать эти задачи.

Поскольку предложенные нами аэрированные легкие бетоны (АЛБ) на пористых заполнителях совмещают в себе свойства как ячеистых бетонов (пенобетонов), так и легких бетонов на пористых заполнителях, был проведен литературный анализ особенностей формирования поровой структуры и технических свойств этих бетонов.

#### ***Ячеистые бетоны и изделия из них***

К легким (конструктивно-теплоизоляционным) бетонам относятся ячеистые бетоны и бетоны на пористых заполнителях со средней плотностью от 300 до 1200 кг/м<sup>3</sup> с показателями предела прочности при сжатии 1,5–20 МПа и теплопроводности 0,16 Вт/м · К.

По способу образования поровой структуры различают два типа ячеистых бетонов:

- газобетон, ячеистая структура которого формируется за счет выделения газа в смеси твердых измельченных минеральных компонентов и воды;
- пенобетон, который получают с помощью пенообразователей – поверхностно-активных веществ (ПАВ), образующих при интенсивном перемешивании устойчивую пену, которая поризует смесь из минеральных вяжущих, молотого песка и воды.

В зависимости от условий твердения ячеистые бетоны делятся на автоклавные, пропаренные и естественного твердения. К примеру, в современной практике применяются газобетонные стеновые изоляции только автоклавного синтеза.

RILEM введено понятие *микроячеистых аэрированных бетонов* как разновидности легких бетонов [98].

В нашей стране глубокие исследования в области неавтоклавных пенобетонов проводились Ю. П. Горловым [27], К. Э. Горяиновым [29], А. М. Крашенинниковым [62], А. П. Меркиным [67], П. А. Ребиндером [88] и др. Авторы разработали технологию производства неавтоклавного пенобетона и изучили его физико-технические свойства. В результате исследований пенобетон, получаемый из цементного теста и технической пены на основе клееканифольной эмульсии, был внедрен в строительство. Но широкого распространения он не получил из-за ряда недостатков: значительной усадки, ползучести, склонности к трещинообразованию, большому расходу цемента и низкой прочности.

В 1930–1940-х гг. был получен *автоклавный пенобетон* на основе цемента, молотого кварцевого песка и пенообразователя. Он выпускается в ряде стран и в настоящее время (Японии, Великобритании, Испании). В России по автоклавной технологии ряд предприятий производил 8 % общего объема автоклавных ячеистых бетонов в мире.

А. П. Пожнин и М. А. Федяшина [131] исследовали автоклавный пенобетон на основе тонкомолотого песка и его природной разновидности – маршаллита. ЗАО «Изоляционный завод» (Санкт-Петербург), используя эти разработки, внедрило в производство автоклавный пенобетон с средней плотностью 250–300 кг/м<sup>3</sup>, а также разработало технологию приготовления неавтоклавного конструктивно-теплоизоляционного пенобетона со средней плотностью 1000–1600 кг/м<sup>3</sup> (ТУ ГОСТ 5870-001-03984155–99) с использованием как молотого, так и немолотого природного песка с  $M_{кр}$  не более 2,0–2,5.

Недостаток классической пенобетонной технологии с применением молотого песка заключается в том, что невозможна заливка крупных массивов из-за

усадочных деформаций и трещинообразования. По сравнению с автоклавной у неавтоклавной технологии есть достоинство – отсутствие дорогостоящей термообработки, возможность изготовления монолитных конструкций, в том числе в условиях строительной площадки. Об экономических преимуществах безавтоклавной технологии свидетельствует тот факт, что стоимость технологического пара с 1991 г. возросла в десятки раз.

Структура порового пространства ячеистого бетона оказывает существенное влияние на прочность и другие его свойства. Вопросы влияния гранулометрии и характера пор на прочность бетона рассматривались в работах П. Л. Ребиндера [88], А. П. Меркина [67], Б. В. Стольников [110] и др.

Изучена взаимосвязь макропористости и прочности. Установлено, что уменьшение среднего диаметра пор, их сферическая форма и равномерное распределение способствуют росту прочности материала.

Влияние микро- и макропористости на прочность может быть различным. А. П. Меркин утверждает, что при одинаковой общей пористости преобладание микропор над макропорами снижает прочность пенобетона.

Предложены различные способы модифицирования микро- и макропористости с целью увеличения прочности ячеистых бетонов. Ведется поиск эффективных пенообразователей и способов приготовления технической пены. Пенообразователи, полученные на основе органического синтеза, или синтетические, по данным ряда исследователей [113], характеризуются высоким водоотделением и низкой стабильностью.

Известно, что толщина межпоровых перегородок и средний диаметр пор взаимосвязаны. В свою очередь, толщина межпоровых перегородок зависит от размера зерен исходных компонентов. От количества воды затворения зависит качество поровой структуры: чем больше воды – тем больше микрокапилляров, ниже стабильность пены.

Основными пенообразователями являются клееканифольный, смолосапониновый, алюмосульфонафтовый, гидролизованная боенская кровь, «Прогресс», «Пеностром-М», «Неопор», «Унипор», сульфол, ОП-7 – ОП-10 [74, 120].

Схема приготовления пенобетона предусматривает применение смесителей (генераторов) для взбивания пены, растворосмесителя для приготовления растворной смеси (портландцемент, молотый кварцевый песок и вода), а также пенобетоносмесителя, где приготавливается пеномасса за счет смешивания пены и растворной смеси.

Требованиям ГОСТ 21520–89 «Блоки из ячеистых бетонов стеновые» отвечают лишь безавтоклавные пенобетонные изделия. Но они также характеризуются значительной усадкой при высыхании (до 1 мм/пм), и при средней плот-

ности  $\rho_0 = 1000 \text{ кг/м}^3$  и размерах  $600 \times 300 \times 198 \text{ мм}$  блоки имеют массу до 35 кг, что не соответствует требованиям эргометрии по EN (европейским нормам).

В случае армирования монолитного пенобетона для защиты арматуры от коррозии рекомендуется использовать антикоррозийные покрытия по СНиП 277–80 «Инструкция по приготовлению изделий из ячеистого бетона». Для снижения усадки при твердении и повышения предела прочности при сжатии и изгибе рекомендуется добавлять органические и неорганические волокна, обеспечивающие армирование пенобетона.

Добавление в ячеистый бетон синтетического волокна приводит к повышению связности смеси за счет сцепления волокон с частицами цемента. Если волокна обладают достаточной длиной и соприкасаются, то образуется пространственный каркас, препятствующий оседанию пеномассы. Учитывая вышесказанное, можно предположить, что частицы вспученного вермикулита и древесные волокна окажут положительное влияние на АЛБ, повышая связность формовочной смеси и снижая усадку. Кроме того, древесные волокна значительно дешевле синтетических, например полиамидных.

Неавтоклавный пенобетон дешевле автоклавного ячеистого бетона, но имеет более низкий коэффициент конструктивного качества (ККК), большие усадочные деформации при твердении и высыхании после увлажнения, повышенную сорбционную влажность.

Области применения монолитного пенобетона:

- монолитное домостроение;
- тепло- и звукоизоляция стен, полов, плит перекрытий;
- теплоизоляция кровли;
- заполнение пустот многослойных ограждающих конструкций;
- изготовление плит, блоков, камней для малоэтажного строительства, возведения мансард, наружных и внутренних стен, перегородок зданий и сооружений.

Разработана технология приготовления неавтоклавного пенобетона с применением немолотого песка в смесителе небольшого объема. Особенностью технологии является совмещение процессов пенообразования и приготовления пеномассы в одном агрегате. Смеситель имеет небольшой объем (120 л) и предназначен для эксплуатации в стационарных условиях и непосредственно на стройплощадках при температуре не ниже  $+10 \text{ }^\circ\text{C}$ , дальность подачи пенобетонной смеси по вертикали – до 10 м, по горизонтали – до 30 м. Подобная технология существует в Великобритании. Она отличается от принятой в нашей стране тем, что пенобетонная смесь готовится в одном скоростном смесителе (системы фирмы «Аэроцем»).

Расход пенообразователя «Пеностром-М» – 0,91–1,15 л/м<sup>3</sup>. Состав сухой смеси: ПЦ-400 – 50–70 %, природный песок – 30–50 %. Данные исследований показывают, что такой пенобетон обладает средней плотностью 800–1200 кг/м<sup>3</sup> и отличается невысоким показателем предела прочности при сжатии. Так, при расходе портландцемента 560–610 кг/м<sup>3</sup> пенобетон со средней плотностью 1200 кг/м<sup>3</sup> имеет  $R_{сж} = 5,0–5,5$  МПа. Большой расход цемента приводит к значительным усадочным деформациям.

В России разработана и испытана опытно-промышленная линия производства поризованных блоков на водостойких гипсоцементнопуццолоновых вяжущих по вакуумно-резательной технологии [67]. Особенность технологии заключается в том, что вспучивание (поризация) смеси осуществляется в вакуум-камере без применения каких-либо пено- или газообразователей, отформованный массив немедленно разрезается дисковыми пилами на столе раскроя на блоки, которые сушатся в естественных условиях.

Преимуществами этой технологии являются быстрое твердение блоков при естественной сушке, их высокопористая структура при отсутствии пено- и газообразователей. Недостатки: блоки имеют невысокую прочность и низкий коэффициент размягчения.

При проектировании состава ячеистых бетонов обычно задаются соотношением «вяжущее : кремнеземистый компонент» и затем по требуемой средней плотности бетона рассчитывают расход компонентов.

### ***Легкие бетоны на минеральных пористых заполнителях и изделия из них***

В развитии теории и технологии легкого бетона на пористых заполнителях большой вклад внесли отечественные ученые: Ю. М. Баженов, Г. А. Бужевич [20, 21], Г. И. Горчаков [18], Е. В. Максимов [64], А. П. Пожнин, Ю. М. Тихонов [80, 8], Н. А. Попов [85, 86], Л. И. Орендлихер [72], М. З. Симонов [103] и др. Известны также работы иностранных авторов Д. А. Нансона, А. Шорта, П. В. Абельса, Р. Малиновского, Х. Баша [137] и др. [138, 139, 141–143].

М. З. Симонов различал два типа структур легкого бетона: первый тип – с заполненной системой межзерновых пустот (бетон плотного, «слитного» строения); второй тип – с неплотной структурой за счет воздухововлечения. И. А. Иванов считал [43], что при прочих равных условиях с увеличением однородности строения легких бетонов возрастает их прочность. Это положение справедливо в первую очередь в том случае, если цементный камень и заполнитель имеют близкие показатели пористости и модуля упругости.

Н. А. Попов установил характер изменения основных свойств легкого бетона в зависимости от расхода воды затворения. При оптимальном расходе воды достигаются наибольшие плотность и прочность бетона.

Гипотеза Н. А. Попова положена в основу расчета состава легких бетонов на пористых заполнителях [85]. Задаются начальным расходом вяжущего, соотношением В/В и В/З (водовяжущее отношение и отношение количества вяжущего к массе или объему заполнителей). Затем методом последовательных приближений – путем приготовления пробных замесов – определяют составы, обеспечивающие минимальный коэффициент выхода смеси (при заданной удобоукладываемости), и, следовательно, максимальную прочность легкого бетона при обязательном соблюдении требований, предъявляемых к средней плотности.

Ведущая роль в формировании структуры и свойств легких бетонов принадлежит пористым заполнителям. Искусственными минеральными пористыми заполнителями являются керамзит и другие разновидности, а также шунгизит, зольный гравий, глинозольный керамзит, аглопорит, шлаковая пемза, гранулированный шлак, вспученный перлит, вермикулит и др. Они производятся в виде гравия, щебня и песка в результате термической обработки минерального сырья. В зависимости от сырьевых ресурсов искусственные пористые заполнители находят широкое применение при производстве легких бетонов.

*Легкие бетоны на пористых заполнителях* изготавливают в смесителях со сравнительно невысокой частотой вращения ( $V = 30\text{--}60$  об/мин). Применяя воздухововлекающие ПАВ, получают *поризованные* легкие бетоны. Часто их название определяется типом пористого заполнителя. В России и странах СНГ до 75 % стеновых панелей, блоков и камней жилых домов выполнено из керамзитобетона [181]. Кроме того, исходя из местных ресурсов и специфики того или иного региона, в СССР в центрах металлургии (Донбасс, Кузбасс) готовили аглопоритобетоны; в Ленинградской, Челябинской, Свердловской и Мурманской областях, в Якутии – вермикулитобетоны; на Украине, в Армении – перлитобетоны; в Карелии – шунгизитобетоны. Имеется многолетний опыт производства туфобетона, пемзобетона, легкого бетона на основе известняка-ракушечника в Закавказье, Казахстане и Дагестане. В настоящее время производство бетонов на пористых заполнителях существенно сократилось.

Теоретические основы управления свойствами бетонов с помощью поверхностно-активных добавок (ПАВ) разработаны П. А. Ребиндером [88], Ю. М. Баженовым [31], Г. И. Горчаковым [28], В. Ф. Журалевлевым [39], И. А. Ивановым [42], В. К. Тихомировым [113], В. В. Стольниковым [110] и другими учеными.

Возможность сочетания легкого бетона на пористых заполнителях с ячеистым отметил А. А. Брюшков в 1931 г. [20]. Позднее был получен целый ряд разновидностей поризованных легких бетонов, изготовление которых основано на сочетании пористых заполнителей с поризованной растворной составляющей.

По данным М. З. Симонова и его учеников [103], у поризованных легких бетонов с применением пористых заполнителей природного как вулканического происхождения (пемзы, вулканические пески, туфы, трассы, перлиты), так и осадочного (пористые известняки – известковые туфы, известняки-ракушники, а также опоки, трепелы, диатомиты) применение гидрофобно-пластифицирующих воздухововлекающих добавок повышает подвижность, однородность и выход легкобетонных смесей. При этом в таких бетонах, приготовленных в обычных «тихоходных» смесителях, максимальный объем воздухововлечения не превышает 9–10 %.

А. П. Пожнин предложил вводить техническую пену в состав теплоизоляционных беспесчаных вермикулитобетонов [79], что повышает подвижность, пористость, однородность и выход легкобетонной смеси, но не снижает расхода вяжущего (свыше 600 кг/м<sup>3</sup>). При производстве работ с применением таких бетонов требуется дополнительное оборудование – пеногенератор.

Стоит сказать несколько слов об истории производства легких бетонов в России. В начале XX в. в Петербурге и Москве было налажено производство бетонных пустотелых камней типа «крестьянин». Камни изготавливались в деревянных формах методом ударного прессования вручную. Смеси готовились на основе цемента, природного песка, измельченного топливного или доменного шлака и опилок. Изготовление таких камней ( $\rho_0 = 1500\text{--}1700 \text{ кг/м}^3$ ,  $R_{\text{сж}} = 5\text{--}7,5 \text{ МПа}$ ) проводилось в соответствии с ВТУ, принятыми на Цементном съезде 15 января 1910 г.

В 40–50 гг. XX в. появились станки вибрационно-ударного действия – и возросла производительность при получении изделий из шлако- и опилкобетона, а в нашем случае – из вермикулитопесчаного бетона.

В 1960–1970 гг. в СССР были пущены технологические автоматизированные линии по производству стеновых вибропрессованных камней из легких бетонов на пористых заполнителях: керамзита, пемзы, ракушечника, аглопорита, термозита, вспученного перлита и др.

В настоящее время ряд отечественных фирм выпускает пустотелые и полнотелые камни как из керамзитобетона (Санкт-Петербург, ЗАО «Метробетон»), так и из беспесчаного бетона (ЗАО «Меликон-полар»). Камни из керамзитобетона имеют среднюю плотность  $\rho_0 = 800\text{--}1200 \text{ кг/м}^3$ , предел прочности при сжа-

тии  $R_{сж} = 5-7,5$  МПа, теплопроводность  $\lambda = 0,24-0,40$  Вт/м · К и морозостойкость  $F = 25-30$  циклов.

В России отмечается устойчивая тенденция повышения спроса на изделия из легкого бетона, прежде всего газобетона. Например, в Санкт-Петербурге и Ленинградской области работают два производителя газобетонных автоклавных изделий – КЖБИ-211 (г. Сертолово, Ленинградская область), завод «Н + Н» – крупнейший в Европе, заводская производительность 400 000 м<sup>3</sup>. Также потребители используют газобетонные камни из Белоруссии (Минский завод силикатных изделий и др.), Эстонии (Нарвский комбинат газобетонных изделий, фирма «АЭРОК», г. Кунда), Финляндии (завода «Сипорекс»). Импортные автоклавные материалы при высоком качестве дороже отечественных.

## **2.2. Исследование аэрированных легких бетонов на основе вспученного вермикулита и перлита и других пористых заполнителей**

Вспученный вермикулит и вспученный перлит являются универсальными заполнителями и позволяют получать материалы многоцелевого назначения. В зависимости от количества и качества воздухововлекающей добавки, режимов работы аэросмесителя, степени поризации и количества введенного вспученного заполнителя можно получить легкие аэрированные бетоны с широким диапазоном средней плотности и пористости.

Во время аэрирования проходят одновременно два процесса: вовлечение воздуха в систему в следствие образования воздушных каверн лопастями аэросмесителя и выход его наружу при недостаточной водоудерживающей способности смеси. Вероятность возникновения и объем каверн зависят прежде всего от скорости вхождения лопастей в систему, их угла наклона, количества и размеров. О характере перемещения составляющих АЛБ при перемешивании можно судить по рис. 2.1 [75].

Кинетика последующего разобщения каверн на множество мелких пузырьков определяется прежде всего интенсивностью и временем перемешивания, а также реологическими характеристиками массы.

При турбулентном перемешивании две субстанции (твердая фаза и воздух) диффундируют в систему с одним и тем же коэффициентом диффузии, который часто используется в расчетах турбулентных систем и называется «аналогия Рейнольдса» [89]. Большая скорость перемешивания позволяет диспергировать пузырьки воздуха, увеличить их количество за счет уменьшения размера

пузырька и равномерно распределять в массе цементного раствора, который создает более толстые и более прочные оболочки (стенки) вокруг пузырьков воздуха по сравнению со структурой у обычных пенобетонов.

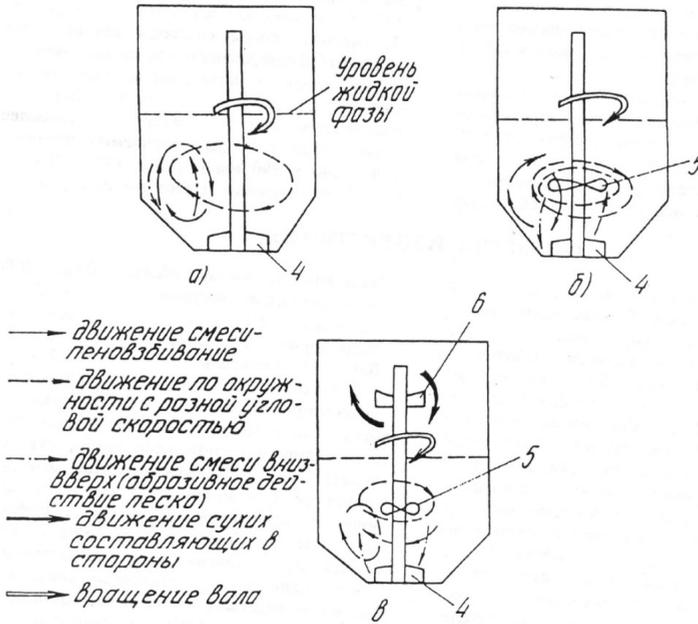


Рис. 2.1. Схема движения составляющих азрированной легкобетонной смеси в скоростном азросмесителе турбулентного типа

Освоение производства АЛБ долгое время сдерживалось отсутствием производства скоростных смесителей. В СССР выпускался только один тип скоростного смесителя СБ-81 с относительно небольшой частотой вращения вала – 320 об/мин (производства Новосибирского механического завода). К настоящему времени Опытно-механический завод (Санкт-Петербург) по нашей рекомендации освоил производство скоростного смесителя с двумя системами лопастей на базе активатора СА-500, это позволило применять эти установки в производстве АЛБ в промышленных масштабах.

До наших работ исследование азрированных легких бетонов (АЛБ) с применением высокопористых заполнителей и немолотого песка не проводилось, соответственно, не было предложено и технологии производства изделий на основе таких бетонов – стеновых панелей и плит перегородок. Поэтому была поставлена задача разработать состав АЛБ со средней плотностью  $\rho_0 = 800\text{--}1200 \text{ кг/м}^3$ , класс бетона В-3.5 – В-10, исследовать их технические свойства, отработать тех-

нологию их получения, разработать технические условия и технологический регламент производства стеновых изделий из АЛБ.

Учитывая возрастающую потребность строительства в легких стеновых камнях, было освоено производство СКАБ (стеновых камней из аэрированного легкого бетона с применением как вспученных заполнителей (вермикулит, перлит), так и побочных продуктов промышленности (зола-унос ТЭЦ, отходы ППС, хвойные опилки и др.)) по технологии, разработанной автором.

Учитывая возрастающий потребительский спрос на современные материалы для устройства перегородок различного назначения, нами ставилась задача – освоить выпуск плит перегородок из АЛБ с техническими характеристиками (средняя плотность, прочность) не ниже аналогичных показателей ячеистых бетонов и гипсобетонов, но с более низкой себестоимостью.

### ***АЛБ с использованием золы-уноса ТЭЦ и обожженной вермикулитосодержащей породы [123]***

Одной из главных задач при подборе составов АЛБ является достижение заданных технических свойств при минимальном расходе цемента. Для этого исследовались следующие приемы:

- замена части цемента тонкомолотой минеральной добавкой – золой-уносом ТЭЦ;
- введение в состав АЛБ некоторого количества мелкозернистого природного песка ( $M_{кр} = 1,8-2$ ) и обожженной вермикулитосодержащей породы;
- активация портландцемента за счет турбулентного перемешивания в скоростном аэросмесителе;
- применение гидротермической обработки АЛБ.

Введение в состав АЛБ золы-уноса ТЭЦ оказывает положительное влияние на его свойства. АЛБ-смесь имеет большую удобоукладываемость, повышается выход теста и сокращается расход портландцемента. Кроме того, утилизация такого побочного продукта промышленности, как зола-унос, имеет значительный экологический эффект.

Использование природного песка необходимо для создания жесткого и прочного каркаса аэрированных растворов с одновременным сокращением усадки и расхода портландцемента. Кроме того, частицы песка при скоростном перемешивании АЛБ-смесей в турбулентных смесителях действуют как абразив, «сдирают» гидратные оболочки с зерен вяжущего, что способствует глубокой гидратизации. Применение особо легких вспученных заполнителей поризует растворную смесь, снижает среднюю плотность и теплопроводность растворов.

При подборе составов легких бетонов с использованием вспученного вермикулита и перлита целью работы являлось получение материала с  $\rho_0 = 1100-1350 \text{ кг/м}^3$ ,  $R_{\text{сж}}^{28} = 5,0-7,5 \text{ МПа}$  при минимальном расходе портландцемента. Поэтому наряду с пористым заполнителем в качестве заполнителя применялся природный песок. В качестве компонента смешанного вяжущего, снижающего расход цемента, в ряде случаев использовалась зола-унос.

Для проверки влияния добавок золы-уноса в составе смешанного вяжущего и его коэффициента основности на повышение прочности цементнопесчаных образцов была проведена серия экспериментов.

Состав смешанного вяжущего рассчитывался по формуле П. И. Боженова [18] и соответствовал коэффициенту основности 0,8; 1,0; 1,2:

$$\frac{\text{сырье с } K_{\text{осн}} > 1}{\text{сырье с } K_{\text{осн}} < 1} = \frac{[(\text{CaO} + 0,93\text{MgO} + 0,6\text{R}_2\text{O}) - (n0,93\text{SiO}_2 + 0,55\text{Al}_2\text{O}_3 + 0,35\text{Fe}_2\text{O}_3)] \cdot x}{(n0,93\text{SiO}_2 + 0,55\text{Al}_2\text{O}_3 + 0,35\text{Fe}_2\text{O}_3) - (\text{CaO} + 0,98\text{MgO} + 0,6\text{R}_2\text{O})} = 1,$$

где  $x$  – количество частей по массе сырья с  $K_{\text{осн}} > 1$  (портландцемент) на 1 часть сырья с  $K_{\text{осн}} < 1$  (зола),  $n$  – заданное значение  $K_{\text{осн}}$  сырьевой смеси,  $n = 0,8; 1,0; 1,2$ .

Как следует из табл. 2.1, только для образцов с золой Прибалтийской ГРЭС обеспечивается получение матрицы с достаточно высокой прочностью ( $R_{\text{сж}} = 41 \text{ МПа}$ ), остальные дают хорошие результаты только при автоклавной обработке. Таким образом, если использовать золу-унос в производстве легких растворов и бетонов естественного твердения, ожидать значительного повышения прочности этих материалов с использованием зол не приходится. В то же время, как показали наши опыты, введение этого тонкодисперсного наполнителя может существенно повысить подвижность растворных и бетонных смесей, а также работать как стабилизатор микропены в случае применения воздухововлекающих ПАВ.

При определении оптимальных составов вермикулито- и перлитопесчаных азрированных бетонов готовились серии образцов с различными соотношениями между вяжущим, песком и легким заполнителем. Количество воздухововлекающей добавки (ОП-7) было постоянным – 0,2 % от золы-уноса. В приложении приведены результаты подбора составов азрированных конструктивно-теплоизоляционных бетонов. Изменяя соотношение между компонентами заполнителя (природный песок : вспученный заполнитель), между количеством вяжущего

Таблица 2.1

Сравнительная характеристика аэрированных вермикулито- и перлитопесчаных бетонов

Вид всученного заполнителя	Расход материалов на 1 м <sup>3</sup> бетона, кг					Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности при		Теплопроводность, Вт/м · К	Условия твердения
	Портландце-мент	Зола-унос	Природный песок	Вспученный заполнитель	Вода		сжатия, МПа	изгиба, МПа		
Перлит	275	165	580	75	270	1150	9,9	2,6	0,3	Автоклавная обработка 0,9 МПа (2 + 6 + 2) часа
						1180	5,0	1,2	0,3	Пропарка (2 + 6 + 2) часа
						1120	7,5	1,4	0,28	28 суток естественного твердения
Перлит	320	180	710	60	300	1280	15,5	4,3	0,33	Автоклавная обработка 0,9 МПа
						1260	7,3	2,0	0,3	Пропарка
						1250	10,0	2,8	0,28	28 суток естественного твердения
Вермикулит	295	180	600	75	400	1160	6,1	2,8	0,28	Автоклавная обработка 0,9 МПа
						1150	4,7	1,9	0,27	Пропарка
						1140	5,5	2,3	0,27	28 суток естественного твердения
Вермикулит	310	190	710	60	370	1280	10,8	4,7	0,32	Автоклавная обработка 0,9 МПа
						1270	6,0	2,2	0,32	Пропарка
						1050	7,2	3,1	0,29	28 суток естественного твердения

и заполнителя, можно получить бетоны с различными свойствами. При этом учитывались результаты исследования АЛР, изложенные в предыдущей главе. С уменьшением соотношения «вяжущее : заполнитель» при одной и той же средней плотности бетона показатели прочности падают. Бетон со средней плотностью 1000–1100 кг/м<sup>3</sup> имеет предел прочности при сжатии в 28-дневном возрасте 4,0–6,5 МПа для составов 1:0,6:(1,5–2,0):(0,25–0,35) (цемент : зола Ижорской ТЭЦ : песок : вспученный заполнитель) и со средней плотностью 1200–1250 кг/м<sup>3</sup>, прочность при сжатии меняется в пределах 5,0–10,0 МПа для составов 1:0,6:(2–2,5):(0,15–0,25).

Прочность АЛБ достигает 9,0–18,0 МПа. При этом прочность бетонов на вспученном перлите значительно выше, что связано с большей «активностью» перлита в щелочной среде при автоклавизации. Как известно, применение щелочного вяжущего (в нашем случае портландцемента) и автоклавной обработки вызывает поляризацию и разрыв ковалентных связей в материалах на основе кислых вулканических стекол. Отсюда и более высокие прочностные свойства автоклавного перлитобетона.

Аэрированные перлитовые бетоны имеют более высокую прочность при сжатии (на 20–30 %) в зависимости от вида гидротермальной обработки при приблизительно одинаковой средней плотности, что связано с формой зерен и характером пористости вспученного перлита. Сферическая форма зерен вспученного перлита приводит также к повышению удобоукладываемости. Это позволяет уменьшить количество воды затворения. В то же время пластинчатая форма зерен вспученного вермикулита увеличивает предел прочности при изгибе на 10–20 %.

Влияние водовяжущего отношения на прочность аэрированных перлитовых и вермикулитопесчаных бетонов можно проследить по рис. 2.2–2.4. У перлитовых бетонов при водовяжущем отношении менее 0,5, у вермикулитовых бетонов при водовяжущем отношении менее 0,68 прочность незначительна из-за рыхлого, несвязанного расположения частиц. С увеличением водовяжущего отношения благодаря равномерному распределению компонентов и внутреннему вакуумированию частиц пористых заполнителей прочность возрастает до 5,0 МПа и выше. Характерной особенностью аэрированных смесей является их высокая подвижность, которая для оптимальных составов составляет 10–11 см (по погружению конуса СтройЦНИЛ). Например, подвижность керамзитобетонных смесей редко превышает 5–7 см, что объясняется более низкой водоудерживающей способностью смесей. Повышение средней плотности при возрастании водовяжущего отношения вызвано снижением эффекта воздуховлечения.

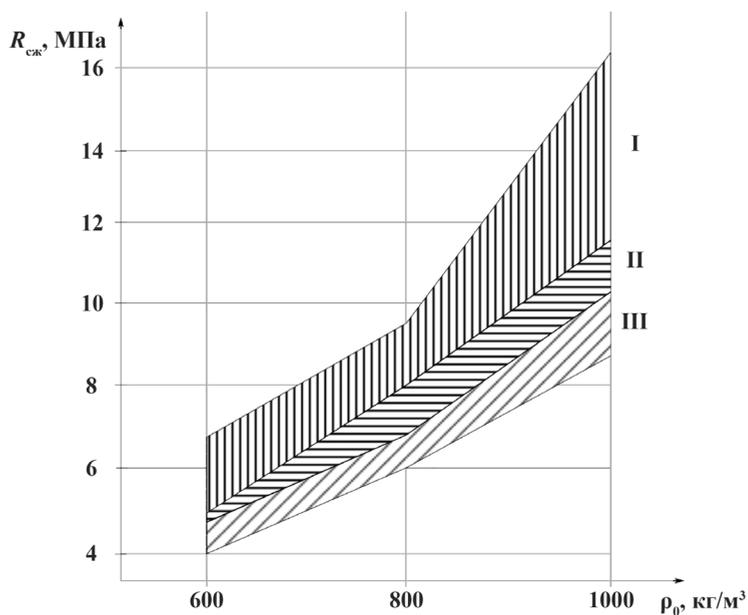


Рис. 2.2. Зависимость прочности при сжатии ( $R_{сж}$ ) от средней плотности ( $\rho_0$ ) аэрированных бетонов: I – область перлитопесчаных бетонов; II – область совместной работы перлитопесчаных и вермикулитопесчаных бетонов; III – область вермикулитопесчаных бетонов

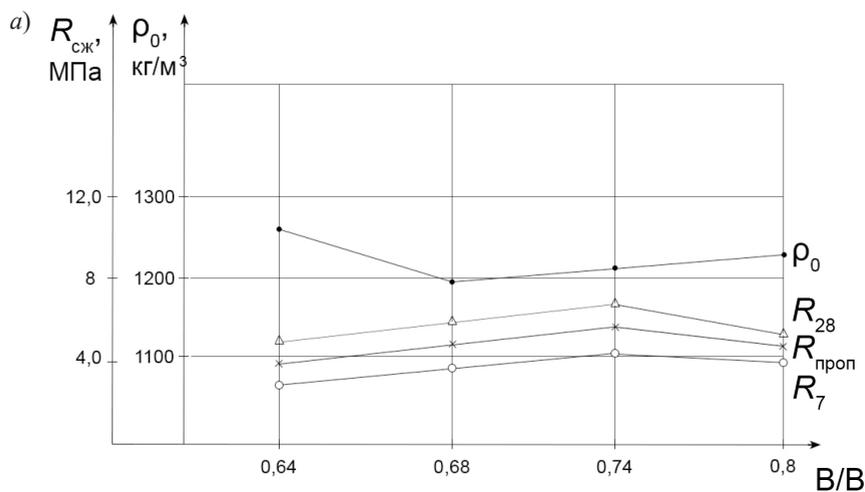


Рис. 2.3. Зависимость средней плотности ( $\rho_0$ ) и прочности при сжатии  $R_{сж}$  вермикулитопесчаного бетона состава 1:0,6:2,3:0,3 (ПЦ : зола : песок : вермикулит) от водовяжущего отношения и условий твердения:  $R_7$  – автоклавная обработка;  $R_{28}$  – 28 суток твердения;  $R_{проп}$  – пропаривание

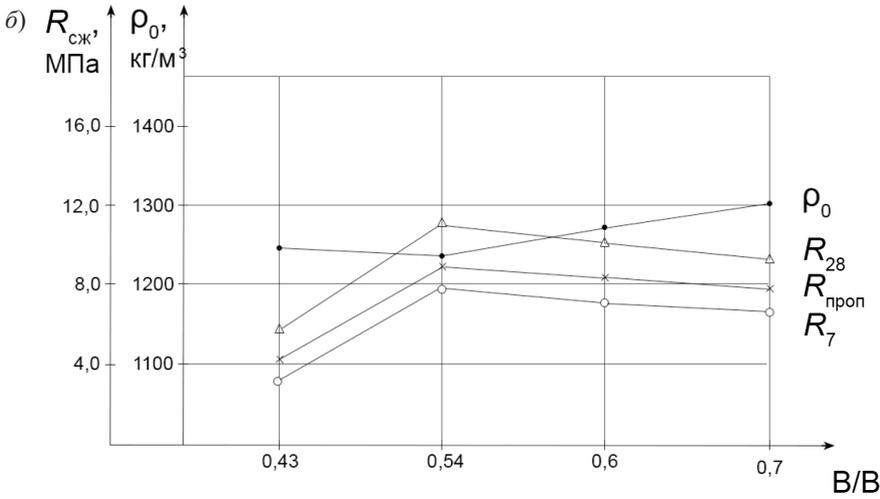


Рис. 2.4. Зависимость средней плотности ( $\rho_0$ ) и прочности при сжатии  $R_{сж}$  вермикулитопесчаного бетона состава 1:0,6:2,3:0,25 (ПЦ : зола : песок : вермикулит) от водовязущего отношения и условий твердения:  $R_7$  – автоклавная обработка;  $R_{28}$  – 28 суток твердения;  $R_{проп}$  – пропаривание

Сравнительный анализ теплоизоляционно-конструктивных азрированных бетонов оптимальных составов (см. табл. 2.1) показывает, что перлитовые бетоны имеют предел прочности на сжатие на 40–60 % выше, чем вермикулитовых бетонов, что также связано с формой зерен перлита и характером его пористости. Но вермикулитовые бетоны превосходят перлитовые растворы по пределу прочности при изгибе на 10–25 %.

Таблица 2.2

Составы азрированных бетонов с добавкой жидкого стекла

Компоненты (части по массе)	Номер состава				
	1	2	3	4	5
Портландцемент М-400	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Зола-унос ТЭЦ	0,5	0,5	0,4	0,4	0,5
Обожженная вермикулитовая руда Каратасского месторождения [66]	2,2	3,0	2,5	2,7	3,2
Жидкое стекло	0,035	0,05	0,04	0,06	0,07
ОП-7	0,002	0,003	0,002	0,003	0,005
В/Ц	0,93	0,95	0,9	0,85	0,97

Разработаны аэрированные цементно-золяные и цементно-золопесчаные бетоны без пористых заполнителей со средней плотностью 1300–1500 кг/м<sup>3</sup> В-35, В-5, В-75, приведенные в табл. 2.2. и 2.3.

Таблица 2.3

**Характеристика аэрированных цементно-золопесчаных бетонов**

Состав, % по массе $\frac{\text{цемент : зола}}{\text{вяжущее : песок}}$	Подвижность, осадка конуса СтройЦНИЛ, см	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности при сжатии, МПа	Расход портландце- мента, кг/м <sup>3</sup>
$\frac{35:65}{1:0}$	14	1270	9,0	380
$\frac{50:50}{1:0}$	12	1300	12,1	560
$\frac{50:50}{1:1}$	8	1400	9,2	340
$\frac{35:65}{1:1}$	11	1520	7,6	300

Результаты определения зависимости прочности при сжатии и плотности АЛБ с применением вспученного вермикулита от расхода воды приведены в табл. 2.4. Введение в состав АЛБ золы-уноса ТЭЦ оказывает положительное влияние на его свойства. АЛБ-смесь имеет большую удобоукладываемость, меньшую среднюю плотность, сокращается расход портландцемента.

Из табл. 2.4 следует, что с увеличением В/В благодаря равномерному распределению компонентов и самовакуумированию вспученного вермикулита прочность возрастает.

Как следует из табл. 2.5, аэрированные бетоны имеют достаточно высокие прочностные показатели (прочность при сжатии 5,0–8,5 МПа) при средней плотности 1100–1300 кг/м<sup>3</sup> и показатели теплопроводности, характерные для легких бетонов.

Таблица 2.4

**Составы и свойства азрированных бетонов, приготовленных  
в промышленном азросмесителе**

Состав по массе				Погружение конуса, см	Предел прочности при сжатии, МПа	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Теплопроводность, Вт/м · К	Коэффициент теплоусвоения, Вт/м · К
Цемент	Зола	Песок	Вспученный каратасский вермикулит					
1:0,6:1,68:0,32				10	5,0	1100	0,17	3,9
1:0,6:2,3:0,3				11	6,5	1200	0,25	4,0
1:0,6:2,5:0,2				10	8,5	1300	0,28	4,5

*Примечание.* Расход ОП-7 – 0,2 % от массы цемента.

Таблица 2.5

**Состав и свойства азрированных легких бетонов на основе  
вспученного вермикулита**

Состав по массе, в частях			Расход воды, л	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности, МПа	
Портланд- цемент	Природ- ный песок	Вспученный вермикулит			при сжатии	при изгибе
1	1,8	0,14	290	1100	5,2	2,5
1	1,8	0,14	320	1200	7,5	2,7
1	2,2	0,35	320	1200	5,7	2,4

***Некоторые особенности получения АЛБ  
с использованием обожженной вермикулитосодержащей  
породы и золы-уноса ТЭЦ***

Проведены исследования по определению составов АЛБ с обожженной вермикулитовой рудой Каратас-Алтынтасского месторождения [67].

При определении оптимальных составов аэрированных бетонов приготавливались серии образцов из смесей различного состава. Установлено, что в зависимости от количества пористого заполнителя, воздухововлекающей добавки и степени поризации можно получить аэрированные бетоны со средней плотностью от 1050 до 1250 кг/м<sup>3</sup> и  $R_{сж} = 1^{-10}$  МПа.

В табл. 2.6 приведены свойства АЛБ на основе обожженной вермикулитовой породы Каратас-Алтынтасского месторождения с  $\rho_n = 450$  кг/м<sup>3</sup> после твердения в различных гидротермальных условиях. Наибольшая прочность достигается при автоклавной обработке при давлении пара 0,9 МПа.

Оптимальными являются составы при расходе вяжущего 250–270 кг/м<sup>3</sup>, так как сохраняется прямо пропорциональная зависимость между средней плотностью и прочностными характеристиками, достаточными при изготовлении «теплых» стяжек полов, стеновых камней, монолитных стен коттеджей.

Таблица 2.6

**Влияние условий гидротермальной обработки на свойства АЛБ на основе обожженной вермикулитовой руды Каратасского месторождения**

Состав по массе			Осадка конуса СтройЦНИИ, см	Свойства аэрированных бетонов			Условия твердения
Вяжущее	Зола	Обожженная вермикулитовая руда		Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности при сжатии, МПа	Предел прочности при изгибе, МПа	
0,55	0,45	2,0	12	1100	2,5	0,8	Давление пара 0,9 МПа (2 + 6 + 2) часа
				1050	1,9	0,6	Пропарка (2 + 6 + 2) часа
				1020	2,2	0,7	28 суток
0,55	0,45	2,5	11	1160	3,7	1,3	Давление пара 0,9 МПа (2 + 6 + 2) часа
				1100	3,0	0,8	Пропарка (2 + 6 + 2) часа
				1050	3,4	1,1	28 суток
0,55	0,45	3,5	10	1300	5,0	2,0	Давление пара 0,9 МПа (2 + 6 + 2) часа
				1250	4,2	1,2	Пропарка (2 + 6 + 2) часа
				1200	4,6	1,5	28 суток

С целью повышения технических свойств АЛБ на основе обожженной вермикулитовой руды в состав компонентов вводилось жидкое стекло. Известно, что добавка жидкого стекла в цементные смеси ускоряет процессы схватывания [60]. При введении жидкого стекла в АЛБ, кроме ускорения процессов схватывания, происходит стабилизация поровой структуры бетона, что приводит к повышению прочности бетона. В данном эксперименте жидкое стекло вводилось с водой затворения и ПАВ. ОП-7 – 0,2 % от массы вяжущего.

Оптимизация составов азрированных теплоизоляционно-конструктивных бетонов на вспученном перлите и с использованием золы-уноса ТЭЦ выполнялась с использованием метода *математического планирования*. В качестве исследуемых факторов были приняты:

- $X_1$  – соотношение «вяжущее (портландцемент + зола) : наполнитель (песок + вспученный перлит)»;
- $X_2$  – соотношение «песок + вспученный перлит»;
- $X_3$  – количество золы.

В качестве параметров оптимизации рассматривались:

- $Y_1$  – средняя плотность азрированного бетона, кг/м<sup>3</sup>;
- $Y_3$  – предел прочности при сжатии, МПа;
- $Y_2$  – предел прочности при изгибе, МПа.

За основные уровни для факторов были приняты значения этих величин, полученные в ходе проведения предварительных экспериментов.

Матрица планирования, а также основные уровни и интервалы варьирования приведены ниже.

Все величины на выходе (средняя плотность, предел прочности при сжатии и изгибе) контролировались путем испытаний образцов.

Результаты статистического анализа приведены ниже.

Поскольку расчетные значения критерия Кохрена ( $G_p$ ) для всех параметров оптимизации меньше табличных ( $G_p$ ), опыты воспроизводимы.

#### Матрица планирования и результаты эксперимента

Уровни	Факторы							
	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_1X_2$	$X_1X_3$	$X_2X_3$	$X_1X_2X_3$
Основной уровень		35/65	95/5	30				
Интервал варьирования		5	5	20				

Уровни	Факторы							
	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_1X_2$	$X_1X_3$	$X_2X_3$	$X_1X_2X_3$
Нижний уровень		30/70	90/10	10				
Верхний уровень		40/60	100/0	50				
1		-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1
2		+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1
3		-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1
4		+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1
5		-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1
6		+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1
7		-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1
8		+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1

**Статистический анализ результатов испытаний**

Параметр оптимизации	Дисперсия воспроизводимости опытов	Дисперсия среднего значения	Значение критерия Кохрена	
			расчетное	табличное
Средняя плотность, $Y_1$	3080	513,3	0,22	0,36
Предел прочности при сжатии, $Y_2$	1,687	0,28	0,23	0,36
Предел прочности при изгибе, $Y_3$	0,1146	0,0143	0,244	0,36

По данным эксперимента рассчитываем линейные уравнения регрессии:

$$\begin{aligned}
 Y_1 &= 1172 - 28X_1 + 82X_2 + 0,6X_3 + 22X_1X_2 - 36X_1X_3 + 14X_2X_3 - 41X_1X_2X_3; \\
 Y_2 &= 7,96 - 0,59X_1 + 1,01X_2 - 0,54X_3 + 0,61X_1X_2 - 1,13X_1X_3 - \\
 &\quad - 0,0875X_2X_3 - 1,04X_1X_2X_3; \\
 Y_3 &= 2,81 - 0,91X_1 + 0,44X_2 - 0,31X_3 + 0,29X_1X_2 - 0,44X_1X_3 - \\
 &\quad - 0,065X_2X_3 - 0,46X_1X_2X_3.
 \end{aligned}$$

Для оценки значимости коэффициентов регрессии вычислялся критерий Стьюдента:

$$t_i = \frac{b_i}{Sb_i}$$

В случае если  $t_i > t_{\tau} = 2,02$  для уровня значимости  $\rho = 0,05$  и число степеней свободы  $f = 8(6 - 1) = 40$ , коэффициенты уравнения регрессии значимы.

После исключения незначимых коэффициентов уравнения регрессии в кодированном виде выглядят так:

$$\begin{aligned} Y_1 &= 1172 - 28X_1 + 82X_2 + 22X_1X_2 - 36X_1X_3 - 41X_1X_2X_3; \\ Y_2 &= 7,96 - 0,59X_1 + 1,01X_2 - 0,54X_3 + 0,61X_1X_2 - 1,13X_1X_3 - 1,04X_1X_2X_3; \\ Y_3 &= 2,81 - 0,91X_1 + 0,44X_2 - 0,31X_3 + 0,29X_1X_2 - 0,44X_1X_3 - 0,46X_1X_2X_3. \end{aligned}$$

Адекватность уравнений проверялась по критерию Фишера.

Все уравнения являются адекватными, так как расчетные значения критерия Фишера не превышают табличных.

### Проверка гипотезы

Параметры оптимизации	Дисперсия адекватности	Значение критерия Фишера	
		расчетное	табличное
Средняя плотность, $Y_1$	937	2,43	3,2
Предел прочности при сжатии, $Y_2$	0,0605	0,29	4,1
Предел прочности при изгибе, $Y_3$	0,0464	3,24	4,1

Как следует из вышеприведенных уравнений, наибольшее влияние на среднюю плотность и предел прочности азрированных бетонов оказывает соотношение «песок : вспученный перлит» (фактор  $X_2$  имеет наибольшие коэффициенты в уравнениях регрессии). Введение золы-уноса ТЭЦ (фактор  $X_3$ ) незначительно снижает среднюю плотность и в большей степени снижает прочность бетона. Проведенные исследования позволили выделить область оптимальных составов азрированных перлитопесчаных бетонов.

### **АЛБ с применением органических заполнителей и бумажных наполнителей**

Одной из задач исследования было получение АЛБ с использованием измельченных бумажных отходов – банковских бумаг, изъятых из обращения.

Отличительной особенностью АЛБ-смесей на бумажном наполнителе является их повышенная жесткость. Глубина погружения конуса СтройЦНИЛ составляет 4–5 см. Повышенная прочность цементнопесчаной матрицы определяется наличием наполнителя, играющего роль дисперсной арматуры. В работе использовались два типа бумажного наполнителя (I тип – короткие, длиной 20–30 мм, шириной 3–4 мм; II тип – дробленые плоские, длиной до 100 мм, шириной 5–8 мм). В табл. 2.7 приведены результаты по подбору состава аэрированного бетона с различным количеством бумажного наполнителя [11].

Таблица 2.7

Подбор составов аэрированных легких бетонов с бумажным наполнителем

Содержание наполнителя по массе, %	Наполнитель I типа («лапша»)		Наполнитель II типа («дробленка»)		Условия твердения
	Свойства АЛБ		Свойства АЛБ		
	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности при сжатии, МПа	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности при сжатии, МПа	
8,5	1390	6,9	1450	1,8	Пропаривание
	1370	7,5	1430	5,0	28 суток естественного твердения
10,0	1300	5,4	1400	5,8	Пропаривание
	1290	6,0	1390	4,5	28 суток естественного твердения
12,0	1200	3,9	1350	~0	Пропаривание
	1180	4,5	1340	3,5	28 суток естественного твердения
13,5	900	разрушение	940	разрушение	Пропаривание
	900	0,2	950	~0,1	28 суток естественного твердения

Как следует из табл. 2.7, при пропаривании образцы бетона с наполнителем II типа практически не твердеют, что связано с особым покрытием данного наполнителя, выделяющего при температуре пропаривания 90–95 °С вещества, препятствующие протеканию реакции гидратации и гидролиза при твердении вяжущего. Твердение в нормальных условиях происходит медленнее, чем в бетоне с наполнителем I типа. Следует отметить, что с изменением массы наполнителя от 8,5 до 12 % средняя плотность и прочность бетона снижаются, оставаясь при 12 % на уровне, достаточном для получения АЛБ и их применения в изготовлении стеновых камней. Повышаются технические свойства бетона с использованием наполнителя I типа – например, предел прочности при сжатии на образцах с наполнителем I типа на 20–25 % выше, чем на наполнителе II типа.

В дальнейшем содержание бумажного наполнителя в легком бетоне было принято равным 12 % по массе. Увеличение расхода наполнителя приводит к резкому ухудшению формуемости изделий, при этом понижается прочность АЛБ.

С целью повышения распалубочной прочности, ускорения твердения в состав азрированного бетона вводились ускорители – хлористый кальций и жидкое стекло.

Как следует из табл. 2.8, введение ускорителей твердения в бетонную смесь с наполнителем I типа повышает прочность бетона в раннем возрасте, что позволяет произвести извлечение изделия из формы перед пропариванием.

Таблица 2.8

**Влияние добавок-ускорителей схватывания и твердения на свойства АЛБ**

Вид добавки	Вид бумажного наполнителя	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности при сжатии, МПа, в возрасте		
			через 24 часа	через 7 суток	после пропаривания
Без добавки	I типа	1200	0,05	4,1	3,9
	II типа	1350	0	3,5	0
CaCl <sub>2</sub> 3 % от массы ПУ	I типа	1230	0,1	4,5	3,1
	II типа	1380	0,05	3,2	0,05
CaCl <sub>2</sub> 3 % + жидкое стекло 2 % от массы ПУ	I типа	1215	0,4	4,4	2,9
	II типа	1370	0,2	3,2	0,2

Оптимальные составы азрированного бетона с бумажным наполнителем приведены в табл. 2.9.

Таблица 2.9

## Оптимальные составы аэрированных легких бетонов

Наименование компонентов	Расход материалов на 1 м <sup>3</sup> бетонной смеси, кг	
	Наполнитель I типа	Наполнитель II типа
Портландцемент	400	425
Песок	600	625
Бумажный наполнитель	120	125
Вода	580	625
ОП-7	1,0	1,2

В табл. 2.10 приведены результаты определения гидрофизических свойств АЛБ с бумажным наполнителем.

Таблица 2.10

## Гидрофизические свойства бетона (состав согласно табл. 2.9)

Наполнитель I типа		Наполнитель II типа	
Сорбционное увлажнение, %	Водопоглощение, %	Сорбционное увлажнение, %	Водопоглощение, %
1,8	33,3	0,9	12,6
1,6	34,2	0,8	13,8
1,7	34,3	0,85	12,4
Средн. 1,7	33,3	0,85	12,9

В табл. 2.11 приведены результаты определения прочности бетона при сжатии в сухом и насыщенном водой состоянии.

Следует отметить, что характер разрушения аэрированных бетонов с данным наполнителем отличается от традиционного хрупкого разрушения обычных бетонов и близок к пластично-текучему разрушению древесины. Бетоны с наполнителем сохраняют цельность после испытаний разрушения (как в сухом, так и в насыщенном водой состоянии).

Определение теплопроводности АЛБ показало, что для составов на наполнителе I типа она составляет 0,28–0,3 Вт/м·К, на наполнителе II типа 0,35–0,38 Вт/м·К.

**Предел прочности при сжатии и коэффициент размягчения  
азрированных бетонов ( $10^{-1}$ , МПа)**

№ п/п	Бумажный наполнитель I типа (пропаренный)			Бумажный наполнитель II типа (через 7 суток)		
	В сухом состоя- нии	В насыщен- ном водой состоянии	Кoeffи- циент размяг- чения	В сухом состоя- нии	В насыщен- ном водой состоянии	Кoeffи- циент размяг- чения
1	30,1	26,4	0,86	27,0	20,7	0,8
2	33,2	26,3	0,8	28,0	23,2	0,82
3	35,0	28,5	0,78	25,6	22,0	0,82
Средн.	32,7	27,0	0,82	26,9	21,9	0,81

### 2.3. Использование метода поровых объемов применительно к расчету и подбору составов АЛБ

При расчете и подборе состава АЛБ, а также при определении поровой составляющей с применением высокопористых заполнителей использовался метод «поровых объемов», разработанный Ю. М. Тихоновым [116]. В основе расчета по этому методу принято положение, что объем высушенного до постоянной массы бетона представляет собой сумму объемов (рис. 2.5):

$$1 = V_{\text{тв.ф}}^a + V_{\text{пор}}^{\text{ист}} = V_{\text{ц.к}}^a + V_{\text{п}}^a + V_{\text{п.з}}^a + V_{\text{в.з}}^{\text{п}} + V_{\text{пва}}^{\text{п}} + V_{\text{п.з}}^{\text{п}},$$

где  $V_{\text{тв.ф}}^a$  – абсолютный объем твердых фаз бетона;  $V_{\text{пор}}^{\text{ист}}$  – объем пор в бетоне или истинная пористость;  $V_{\text{ц.к}}^a + V_{\text{п}}^a + V_{\text{п.з}}^a$  – абсолютные объемы цементного камня, песка и пористого заполнителя;  $V_{\text{в.з}}^{\text{п}}$  – объем пор в бетоне от воды затворения;  $V_{\text{пва}}^{\text{п}}$  – объем вовлеченного воздуха;  $V_{\text{п.з}}^{\text{п}}$  – объем пор от введения пористого заполнителя.

$$V_{\text{пор}}^{\text{ист}} = \frac{\rho_{\text{иб}}^{\text{ср}} - \rho_{\text{б}}}{\rho_{\text{иб}}^{\text{ср}}},$$

где  $\rho_{\text{б}}$  – средняя плотность АЛБ, определенная по результатам испытаний образцов;  $\rho_{\text{иб}}^{\text{ср}}$  – средневзвешенная истинная плотность.

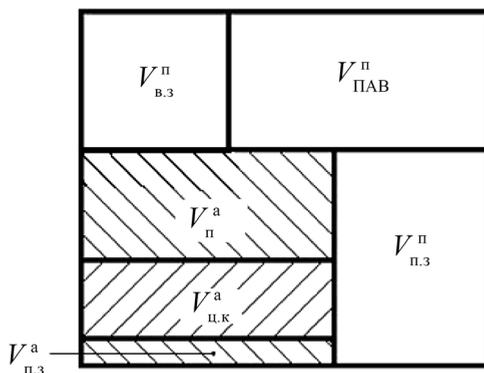


Рис. 2.5. Распределение поровой и твердых составляющих в объеме затвердевшего аэрированного легкого бетона

Подбор состава АЛБ состоит из следующих операций:

- 1) расчет состава АЛБ;
- 2) изготовление пробных замесов с определением требуемой подвижности АЛБ-смеси;
- 3) изготовление опытных образцов;
- 4) испытание образцов и определение технических свойств АЛБ;
- 5) расчет поровой структуры АЛБ.

Исходными данными для расчета АЛБ являются задание на проектирование состава бетона и характеристика используемых материалов. Задание включает класс АЛБ по прочности, его среднюю плотность и подвижность АЛБ-смеси. В строительной практике класс АЛБ и  $\rho_{\text{ср}}$  устанавливаются проектом, а подвижность формовочной смеси принимается в зависимости от способа формирования.

Характеристика материалов для приготовления АЛБ:

- марка или активность цемента,  $R_{\text{ц}}$ ;
- насыпная плотность цемента;
- истинная плотность цемента,  $\rho_{\text{ц}}$ ;
- истинная плотность цементного камня,  $\rho_{\text{цк}}$ ;
- насыпная плотность песка, модуль крупности песка  $M_{\text{кр}}$ ;
- истинная плотность песка,  $\rho_{\text{п}}$ ;
- насыпная плотность пористого заполнителя (вспученного перлита, вспученного вермикулита, опилок и пр.);
- истинная плотность пористого заполнителя,  $\rho_3$ .

Расчет начинается с определения расхода цемента в тоннах на 1 м<sup>3</sup> АЛБ по модифицированной формуле А. Н. Попова [85]:

$$\text{Ц} = \frac{R_{\text{АЛБ}}}{KR_{\text{Ц}}} - 0,05,$$

где  $R_{\text{АЛБ}}$  – заданная кубиковая прочность АЛБ;  $R_{\text{Ц}}$  – марка цемента;  $K$  – коэффициент, учитывающий качество песка (для мелкого песка с  $M_{\text{кр}} = 1,5-2$   $K = 0,6-0,7$ ).

Далее определяется истинная пористость проектируемого бетона:

$$V_{\text{пор}}^{\text{ист}} = \frac{\rho_{\text{иб}}^{\text{сп}} - \rho_0}{\rho_{\text{иб}}^{\text{сп}}},$$

где  $\rho_0$  – заданная средняя плотность бетона, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_{\text{иб}}^{\text{сп}}$  – истинная плотность АЛБ,

определяемая по формуле  $\rho_{\text{иб}}^{\text{сп}} = \frac{\rho_{\text{и.п.}}m_{\text{п}} + \rho_{\text{и.ц.к}}m_{\text{ц.к}} + \rho_{\text{и.п.з}}m_{\text{п.з}}}{m_{\text{п}} + m_{\text{ц.к}} + m_{\text{п.з}}}$ ;  $\rho_{\text{и.п.}}$ ,  $\rho_{\text{и.ц.к}}$ ,  $\rho_{\text{и.п.з}}$  – истинная плотность цементного камня, природного песка, пористого заполнителя соответственно;  $m_{\text{п}}$ ,  $m_{\text{ц.к}}$ ,  $m_{\text{п.з}}$  – масса вышеупомянутых материалов соответственно.

Поскольку абсолютный объем твердых фаз ( $V_{\text{тв.ф}}^{\text{а}}$ ) затвердевшего высушенного до постоянной массы АЛБ представляет собой сумму абсолютных объемов цементного камня, песка и пористого заполнителя, он рассчитывается по формуле

$$V_{\text{тв.ф}}^{\text{а}} = \frac{m_{\text{ц.к}}}{\rho_{\text{и.ц.к}}} + \frac{m_{\text{п}}}{\rho_{\text{и.п}}} + \frac{m_{\text{п.з}}}{\rho_{\text{и.п.з}}},$$

где  $m_{\text{ц.к}} = \alpha \cdot \text{Ц}$  – масса цементного камня ( $\text{Ц}$  – расход цемента, кг,  $\alpha$  – коэффициент, учитывающий количество химически связанной воды после гидратации цемента в течение 28 суток,  $\alpha = 1,15$ );  $m_{\text{п.з}}$  – масса пористого заполнителя, которая принимается исходя из полученных автором данных, опубликованных в литературе [119, 125, 126].

Поскольку пористые заполнители – вспученный перлит, вспученный вермикулит, хвойные опилки имеют насыпную массу  $\rho_{\text{н}} = 100 - 190$  кг/м<sup>3</sup>, обладают малой механической прочностью и высокой пористостью, их вводят в АЛБ как дополнительные средства поризации, исходя из нашего опыта подбора состава АЛБ, – 400–500 л на 1 м<sup>3</sup> АЛБ (40–60 кг), в зависимости от средней плотности проектируемого бетона. Например, в наших опытах расход вспученного перлита составил 400 л на 1 м<sup>3</sup> АЛБ с  $\rho_0 = 1200$  кг/м<sup>3</sup> и 500 л – на 1 м<sup>3</sup> АЛБ с  $\rho_0 = 1000$  кг/м<sup>3</sup>.

Расход (масса) природного песка на 1 м<sup>3</sup> АЛБ находится из уравнения

$$\Pi = \left( V_{\text{тв.ф}}^a - \frac{m_{\text{ц.к}}}{\rho_{\text{и.п.к}}} - \frac{m_{\text{п.з}}}{\rho_{\text{и.п.з}}} \right) \rho_{\text{п}}.$$

Расход воды определяется по расходу цемента (Ц) и В/Ц (0,8–0,9), что обеспечивает получение подвижной АЛБ-смеси с осадкой конуса СтройЦНИЛа, равной 10–14 см.

### ***Определение поровой составляющей АЛБ***

Аэрированный легкий бетон на пористых заполнителях – это сложная система, в которой формирование порового пространства обусловлено следующими факторами:

- 1) аэрированием – воздухововлечением в скоростном смесителе за счет введения ПАВ;
- 2) поризацией за счет избыточной воды затворения;
- 3) поризацией частицами легкого заполнителя.

После определения истинной пористости аэрированного легкого бетона на пористом заполнителе последовательно определяется объем пор от воды затворения, от пористого заполнителя, объем пор от аэрирования – объемного воздухововлечения.

Объем пор от воды затворения ( $\Pi_{\text{в.з}}$ ) находят исходя из расхода воды (В) и количества воды, химически связанной портландцементом ( $V_{\text{х.св}}$ ), в процессе нормального твердения в течение 28 суток:

$$V_{\text{х.св}} = \text{Ц} \cdot \beta, \%,$$

где Ц – расход цемента на 1 м<sup>3</sup> СКАБ,  $\beta = 1,15$  – коэффициент, учитывающий химически связанную воду.

Общий объем пористого заполнителя, идущего на приготовление 1 м<sup>3</sup> АЛБ, равен:

$$V_{\text{п.з}} = \frac{m_{\text{п.з}}}{\rho_{\text{и.п.з}}},$$

где  $m_{\text{п.з}}$  – масса пористого заполнителя, кг;  $\rho_{\text{и.п.з}}$  – насыпная плотность, кг/м<sup>3</sup>.

В свою очередь, объем пористого заполнителя является суммой объемов:

$$V_{п.з} = V_{п.з}^a + \Pi_{м} + \Pi_{з},$$

где  $V_{п.з}^a$  – абсолютный объем пористого заполнителя, л;  $\Pi_{м}$  – межзерновая пустотность заполнителя, %;  $\Pi_{з}$  – объем пор в зернах пористого заполнителя, л.

Объем пор в АЛБ, формируемого зернами пористого заполнителя, можно определить по формуле

$$\Pi_{п.з} = \frac{m_{п.з}}{\rho_{н.п.з}} - \frac{m_{п.з}}{\rho_{п.п.з}},$$

и объем пор от аэрирования составит:

$$\Pi_{пав} = \Pi_{пб} - \Pi_{в.з} - \Pi_{з}.$$

Далее определяется расход ПАВ, необходимый для образования этого объема пор. Поскольку порообразователь не полностью используется на образование пор в АЛБ-смеси, его расход принимают несколько большим:

$$m_{пав} = \frac{\Pi_{пав}}{k \cdot \alpha} V_{б},$$

где  $k$  – выход пор – объем пены, получаемый с 1 кг ПАВ, считая на сухое вещество;  $\alpha$  – коэффициент использования пенообразователя,  $\alpha = 0,85$ .

После изготовления контрольных образцов, их испытания определяются технические свойства АЛБ и в случае необходимости делается корректировка его состава.

## 2.4. Основные свойства аэрированных легких бетонов. Подвижность АЛБ-смесей, прочность и средняя плотность АЛБ

Установлено, что в качестве воздухововлекающих ПАВ следует использовать сравнительно недорогие технические продукты – ОП-7 и сульфол в количестве 0,15–0,2 % от массы вяжущего.

Приготовление в скоростных аэросмесителях позволяет получать АЛБ-смеси с высокой подвижностью (погружение конуса СтройЦНИЛ – более 10 см).

Это позволяет изготавливать изделия способом пластического формования (легкобетонная смесь перемещается по лотку и заполняет форму).

Легкобетонную смесь можно приготовить в смесителях различных типов:

- в лабораторном смесителе с частотой перемешивания 60 об/мин;
- скоростном аэросмесителе турбулентного типа с двумя системами лопастей ( $V = 740$  об/мин);
- по двухступенчатой технологии, когда все компоненты смеси, за исключением пористого заполнителя, перемешиваются в скоростном смесителе турбулентного типа, а вспученный легкий заполнитель подается в растворосмеситель последним, далее перемешивание производится с малой частотой – 60 об/мин.

Во всех случаях продолжительность приготовления легкобетонной смеси не превышает 5 мин.

Состав АЛБ по массе: портландцемент : природный песок : вспученный заполнитель = 1:2:0,25, ОП-7 – 0,2 % от массы портландцемента (табл. 2.12).

Таблица 2.12

**Технические свойства растворов, изготавливаемых по разным технологиям.**

**Состав АЛБ по массе: портландцемент : природный песок : вспученный заполнитель = 1:2:0,25, ОП-7 – 0,2 % от массы портландцемента**

Показатель	Способ приготовления АЛБ-смеси						
	по двухступенчатой технологии (аэросмеситель + растворосмеситель)				в аэро- смесителе		в раство- росмеси- теле
	Вид вспученного заполнителя				Вид вспученно- го заполнителя		Вид пори- стого заполни- теля
	Перлит	Вермикулит	Перлит	Вермикулит	Перлит	Вермикулит	Перлит
1	2	3	4	5	6	7	8
Скорость вращения ротора растворосмесителя, об/мин	740 + 60	740 + 60	740 + 60	740 + 60	740	740	60

Окончание табл. 2.12

1	2	3	4	5	6	7	8
Подвижность смеси, О. К., см	12	11	13	11	14	11	9
Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	1150	1200	1100	1150	1250	1200	1400
Предел прочности при сжатии, МПа	6,0	5,0	7,0	6,0	5–7,5	7,5–8,0	5,0
Предел прочности при изгибе, МПа	2,5	3,0	3,0	3,5	3,0	2,5	1,5
Теплопроводность, Вт/м · К	0,2	0,21	0,23	0,18	0,24	0,2	0,28

Данные табл. 2.12 показывают, что приготовление смеси в обычном растворосмесителе с малой скоростью перемешивания, ее подвижность значительно ниже, чем у смеси, полученной в аэросмесителе, кроме того, средняя плотность бетона выше на 18 %, чем у АЛБ.

Коэффициент конструктивного качества легких вермикулито-перлитобетонов, полученных в обычном «тихоходном» смесителе, в 1,5–1,8 раза ниже по сравнению с аналогичными показателями бетонов при скоростном перемешивании. Двухступенчатая технология АЛБ обеспечивает максимальную прочность и небольшое снижение плотности и теплопроводности, но требует при промышленном производстве изделий из АЛБ дополнительного оборудования (аэросмеситель + растворосмеситель) либо изготовления специального смесителя, обеспечивающего двухстадийное перемешивание.

Опыты, проведенные в промышленных условиях, показали, что при увеличении частоты вращения с 200 до 1000 об/мин технические свойства легкого бетона (средняя плотность и прочность) изменяются незначительно, но ускоряется износ оборудования.

По результатам исследований было рекомендовано в экспериментальном цехе по производству АЛБ и изделий на его основе использовать одностадийное приготовление АЛБ-смесей. При загрузке аэросмесителя вспученный заполнитель вводился в смесь последним, продолжительность перемешивания после загрузки принята равной 1 мин.

Средняя плотность и прочность АЛБ можно регулировать следующими факторами:

- расходом воды (В/В);
- типом и расходом вяжущего;
- насыпной плотностью вспученного заполнителя и его количеством;
- количеством природного песка;
- типом и количеством ПАВ;
- типом смесительной установки;
- режимом приготовления (перемешивания).

Путем изменения соотношения между вяжущим, песком и вспученным заполнителем можно приготавливать легкие конструктивно-теплоизоляционные бетоны с различной прочностью и средней плотностью.

Усадка определялась на образцах, хранившихся на воздухе в изотермической камере.

Наблюдения, продолжавшиеся три месяца, показали, что усадочные деформации наиболее интенсивно развиваются в первые 7–14 дней и практически стабилизируются через три месяца. Введение в аэрированные бетоны природного песка и вспученных заполнителей оказывает положительное влияние, усадка снижается приблизительно в три раза. Вермикулит и перлит также снижают деформации усадки.

Поровая структура АЛБ исследована на образцах АЛБ:

- аэрированный опилкобетон со средней плотностью 1000 и 1200 кг/м<sup>3</sup> и общей пористостью 60 и 54 %;
- аэрированный бетон на основе вспученного вермикулита с  $\rho_0 = 1150$  кг/м<sup>3</sup> и  $\Pi_{\text{общ}} = 55,2$  %;
- аэрированный бетон на основе вспученного перлита с  $\rho_0 = 1100$  кг/м<sup>3</sup> и  $\Pi_{\text{общ}} = 56,8$  %;
- пенобетон с  $\rho_0 = 900$  кг/м<sup>3</sup> и  $\Pi_{\text{общ}} = 64$  %.

#### Средняя плотность и пористость АЛБ

Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Пористость общая, %	Распределение пор, %, по условиям их образования		
		Испарение воды	Воздухововлечение	Поры легкого заполнителя
1100	60	15	32,8	12,2
1200	54	18	26,8	9,2

Доля пор, сформированных воздухововлечением для АЛБ со средней плотностью 1000–1200 кг/м<sup>3</sup>, максимальна и составляет 1/3–1/4 от общего объема пор в материале. Приблизительно 1/6–1/5 всего объема – поры от избыточной воды затворения и 1/5–1/4 17–20 % – хвойные опилки.

Размеры пор определялись микроскопическим методом (микроскоп МВС-9).

При помощи метрической сетки определены размеры не менее 100 пор. Результаты определений приведены в табл. 2.13.

Таблица 2.13

**Характеристики поровой структуры легких бетонов**

Тип легкого бетона	Средний диаметр пор, см	Размах варьирования, см	Стандартное отклонение
Аэрированный опилкобетон	0,0187	0,06	0,014
Аэрированный бетон со вспученным вермикулитом	0,0112	0,06	0,0135
Аэрированный бетон со вспученным перлитом	0,0143	0,07	0,0129
Пенобетон	0,0287	0,08	0,0179

При приблизительно одинаковой общей пористости средний диаметр пор пенобетона примерно в два раза больше по сравнению с аналогичным показателем АЛБ.

Величина размаха варьирования и стандартного отклонения свидетельствует о более равномерном распределении пор АЛБ по размерам.

Пористость аэрированных бетонов определяется тремя видами пор: порами вспученного заполнителя; порами, образованными за счет вовлеченного воздуха; порами, образованными водой затворения.

Установлена зависимость изменения теплопроводности аэрированных бетонов от их средней плотности, которая, в свою очередь, зависит от пористости.

**Зависимость теплопроводности аэрированных бетонов от их средней плотности**

Параметр	Значения					
	800	900	1000	1100	1200	1300
Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>						
Теплопроводность, Вт/м · К	0,16–0,18	0,17–0,19	0,18–0,21	0,20	0,23	0,24

Установлено также, что теплопроводность бетонов на цементно-зольном вяжущем на 10–20 % меньше, что связано с аморфной структурой золы. В целом теплопроводность аэрированных бетонов ниже, чем керамзитобетона той же плотности, что определяется мелкопористым строением цементной матрицы и наличием особо легких мелкопористых заполнителей.

Данные табл. 2.14 свидетельствуют о том, что поры АЛБ на легких заполнителях формируются в значительной степени за счет введения ПАВ. С уменьшением средней плотности АЛБ возрастает доля порового пространства, сформированного за счет введения вспученного перлита. Объем пор, сформированных водой затворения, составляет 14,1–17,8 %.

Таблица 2.14

**Характеристика порового пространства АЛБ со вспученным перлитом**

Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Истинная пористость, %	Объем пор, %, сформированный за счет		
		ПАВ	воды затворения	зерен вспученного перлита
1200	53,8	26,8	17,8	9,2
1000	61,5	32,8	15,8	12,9
800	69,5	36,1	15,2	18,7
600	76,9	38,5	14,6	26,5
400	84,6	36,6	14,1	35,9
250	93,1	35,5	16,0	41,5

Основные свойства пенобетона и АЛБ на пористых заполнителях, взятые в сравнении, представлены в табл. 2.15. АЛБ и изделия на его основе отличаются от пенобетона неавтоклавного твердения значительно меньшим расходом вяжущего и меньшей усадкой.

Как свидетельствуют данные испытаний (табл. 2.16, рис. 2.6), водопоглощение аэрированных бетонов и их сорбционная влажность практически не отличаются от вермикулитопесчаных той же средней плотности. Это объясняется особенностью структуры аэрированных бетонов – замкнутостью пор и их малым размером.

Таблица 2.15

## Сравнительная характеристика АЛБ и пенобетона

Наименование показателя	АЛБ ТУ 5741-001-02/068/580-02			Пенобетон ТУ 5741-001-03/984/267-02	
Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	1000			1000	
Класс бетона, МПа	В5/В7,5			В5/В7,5	
Усадка, мм/м	Менее 0,4			Менее 3	
Расход портландцемент-та, кг/м <sup>3</sup>	260–310			350–450	
Истинная пористость	61,5 %, в том числе от:			61,5 %, в том числе от:	
	ПАВ	воды затворения	вспучивания перлита	технической пены	воды затворения
	32,8	15,8	12,9	49,5	12,0

Таблица 2.16

## Зависимость водопоглощения и влагоотдачи азрированных бетонов от состава и продолжительности твердения

Вид бетона	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Водопоглощение, %	Влагоотдача, %				
			1 день	3 дня	7 дней	28 дней	90 дней
Цементно-зольный	1150	31,5	27,2	21,2	21,0	4,4	3,4
Цементно-золоспесчаный	1380	22,6	15,9	10,3	6,1	3,1	2,1
Вермикулитопесчаный неазрированный	1400	23,9	16,5	12,8	5,8	3,0	2,8
Азрированный вермикулитопесчаный	1300	23,5	20,1	15,1	6,5	2,6	2,3
Азрированный перлитопесчаный	1250	20,5	17,6	14,0	5,5	2,7	2,1

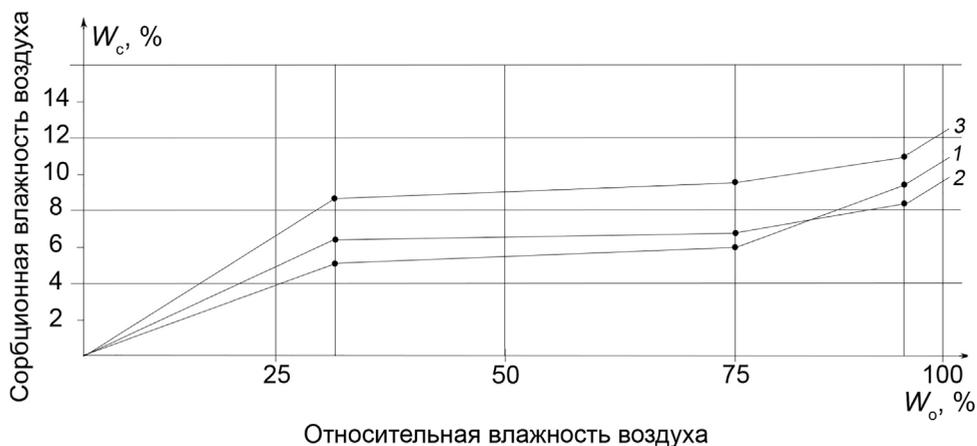


Рис. 2.6. Сорбционная влажность аэрированных бетонов: 1 – вермикулитопесчаный; 2 – перлитопесчаный; 3 – цементно-золопесчаный

Результаты исследований показали, что сорбционная влажность аэрированных бетонов не превышает 6 % (при относительной влажности воздуха 50–60 % и  $t = 18 \text{ }^\circ\text{C}$ ). При хранении бетонов на воздухе имеет место интенсивная (в первые семь суток) влагоотдача. Поэтому в промышленных условиях необходимо создать благоприятные условия твердения, особенно в первые сутки после приготовления АЛБ.

## 2.5. Разработка технологии производства стеновых камней и плит перегородок из АЛБ с применением высокопористых минеральных заполнителей.

### Технико-экономические расчеты

#### *Разработка технологического регламента производства стеновых камней из АЛБ*

Исходя из опыта производства легких бетонов, принята агрегатно-поточная схема производства стеновых камней из АЛБ [126, 127]. Стеновые камни из аэрированного легкого бетона с высокопористым заполнителем предназначены для наружных и внутренних стен малоэтажных жилых, общественных, промышленных и сельскохозяйственных зданий.

Комплект оборудования цеха включает аэросмеситель емкостью 500 л и частотой вращения вала 740 и 1000 об/мин, тельфер, комплект специально сконструированной металлической формооснастки, объемные дозаторы цемента, песка и пористого заполнителя. Оборудованы склады для хранения 5-суточного запаса компонентов для приготовления АЛБ, емкости для хранения ПАВ (ОП-7). Необходимы также производственные площади для выдержки и хранения готовой продукции.

Стеновые камни (СКАБ) выпускаются следующих размеров: длина –  $(390 \pm 3,0)$  мм, ширина –  $(190 \pm 3,0)$  мм и высота –  $(190 \pm 3,0)$  мм. Камни должны удовлетворять требованиям, разработанным нами ТУ 5741-001-02068580-02. Основные показатели аэрированных бетонов приведены в табл. 2.17.

Таблица 2.17

**Техническая характеристика СКАБ**

Наименование показателя	Значение показателей
Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup> (в том числе с учетом пустот)	1000, 1100, 1200, 800, 900
Класс прочности	B3,5–7,5
Предел прочности при изгибе, МПа	0,2–0,35
Теплопроводность, Вт/м · К	0,2–0,35
Отпускная влажность, % по массе, не более	10
Морозостойкость, цикл, не менее	25
Водопоглощение, % по массе	10–20
Средняя плотность бетонной смеси, кг/м <sup>3</sup>	1050–1400
Подвижность бетонной смеси (О. К.), см	8–10

***Характеристики исходных материалов и подбор состава АЛБ***

Ускорители твердения, антисептики, антипирены: хлористый кальций по ГОСТ 450–77, жидкое стекло по ГОСТ 13078–81, кремнефторид натрия по ТУ 6-09-462-89715–2000.

Хвойные опилки при поставке по размерам частиц и по показателям засоренности должны соответствовать требованиям ГОСТ 19222 «Арболит и изде-

лия из него. Общие технические условия». Опилки, полученные поперечной распиловкой и лесорамные, близки по своим свойствам (табл. 2.18) и рекомендуются к применению в производстве АЛБ.

Таблица 2.18

## Свойства и зерновой состав хвойных опилок

Наименование предприятий и вид опилок	Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Истинная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Истинная пористость древесины, %	Истинная пористость опилок, %	Водопоглощение, % по массе	Частные остатки на ситах, мм				
							2,5	1,25	0,63	0,315	Менее 0,315
ЛПЗ пос. Рыбацкое, лесорамные	120–150	1490	520	60,4	89,9	200–250	52	21,4	19,6	5	2
Невский ДОЗ, поперечной распиловки	140–190	1490	450	69,0	80,7	180–230	50,4	32,0	12,2	3	2,4

Важно отметить, что при приготовлении АЛБ и изделий на его основе в производственных условиях для того, чтобы понизить отрицательное воздействие опилок на цементный камень из АЛБ [7, 32, 49, 71]:

- применялись опилки только хвойных пород;
- содержание опилок в АЛБ было сведено к минимуму и не превышало 400–500 л/м<sup>3</sup> или 50–75 кг на 1 м<sup>3</sup> СКАБ. К примеру, при производстве 1 м<sup>3</sup> арболита расходуют 160–240 кг органического заполнителя;
- использовались хвойные опилки, возраст которых не превышал шести месяцев;
- в ряде случаев, например при регулировании скорости схватывания смесей, осуществлялась дополнительная минерализация и антисептирование опилок за счет применения жидкого стекла и кремнефторида натрия (Na<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub>).

Содержание водорастворимых редуцирующих веществ должно быть не более 2 %.

В качестве воздухововлекающей добавки использовались различные поверхностно-активные вещества: сульфолон ГОСТ 24411–91, ОП–10, ГОСТ 8415–81 и др.

Подбор состава аэрированного легкого бетона состоит в установлении рационального соотношения между его компонентами и расхода материалов с учетом их влажности.

### **Технологическая схема производства СКАБ с пористым наполнителем**

Основной агрегат технологической линии – скоростной аэросмеситель турбулентного типа производства ЗАО «Опытный механический завод» (Санкт-Петербург) (рис. 2.7). Аэросмеситель имеет две системы лопастей, две частоты вращения ротора двигателя и лоток для подачи АЛБ-смеси в форму. Его техническая характеристика:

- объем загрузки, л, – 500;
- объем готовой смеси, л, – 300–330;
- установленная мощность электродвигателя, кВт, – 10;
- частота вращения рабочего ротора, об/мин, – 735, 1000;
- двойная система лопастей: нижние лопасти (у дна аэросмесителя) – для взбивания пены, верхние – для турбулентного перемешивания;
- продолжительность приготовления замеса, с, – 150–180;
- продолжительность выгрузки в форму, с, – 60–90;
- полный цикл приготовления замеса, с, – 210–270.

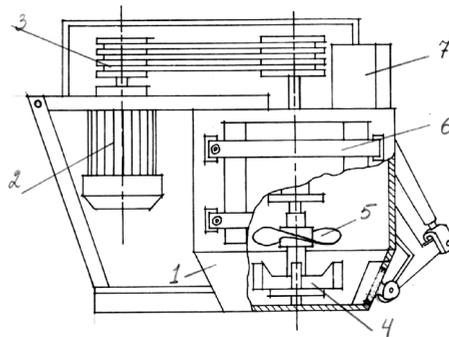


Рис. 2.7. Скоростной аэросмеситель турбулентного типа  $V = 500$  л:  
1 – барабан аэросмесителя; 2 – электродвигатель; 3 – ременной шкив;  
4 – пеновзбивающие и перемешивающие лопасти; 5 – перемешивающие лопасти;  
6 – ревизия; 7 – горловина для загрузки материалов; 8 – затвор

Авторы предлагают перспективный строительный материал – стеновой камень из неавтоклавно аэрированного легкого бетона (СКАБ), который готовится в скоростном аэросмесителе турбулентного типа. Схема производства стеновых изделий из аэрированных легких бетонов представлена на рис. 2.8.

СКАБ – это конструктивно-теплоизоляционный композит, сочетающий в себе свойства пенобетона и легкого бетона на пористом заполнителе. Мелкопористая структура материала формируется активным воздухововлечением и высокопористым заполнителем. Бетонная смесь пластична, она заполняет форму, что обеспечивает изделиям гладкую поверхность и точность геометрических размеров.

Основные технические свойства СКАБ:

- размеры – 390×190×190 мм;
- средняя плотность – 800–1200 кг/м<sup>3</sup>;
- теплопроводность – 0,24–0,35 Вт/м · К;
- предел прочности при сжатии – 5–7,5–10 МПа;
- морозостойкость – 35 циклов.

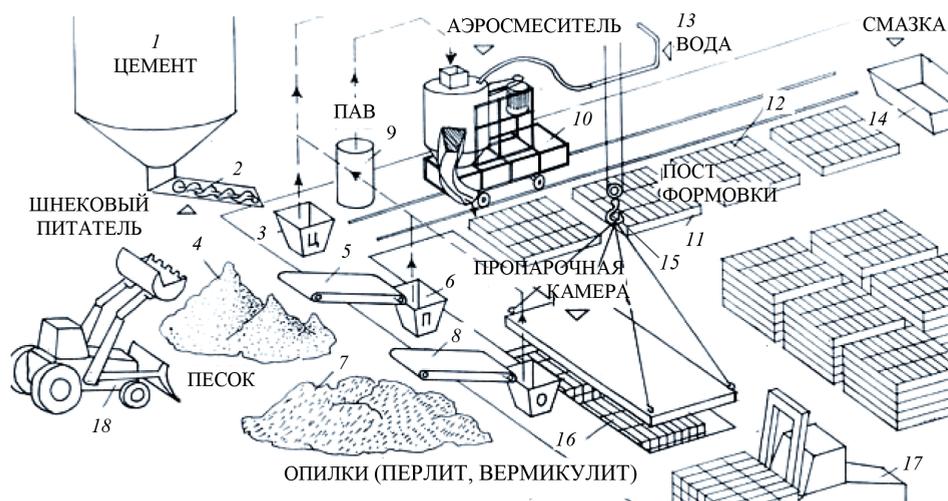


Рис. 2.8. Схема производства стеновых камней из аэрированных легких бетонов СКАБ: 1 – силос для хранения портланд-цемента; 2 – шнековый питатель для транспортировки портландцемента; 3 – объемный дозатор портландцемента; 4 – склад для природного песка; 5 – транспортер песка; 6 – объемный дозатор песка; 7 – склад пористого заполнителя (опилки, вспученный перлит, вспученный вермикулит, крошка пенополистирола); 8 – транспортер пористого заполнителя в объемный дозатор пористого заполнителя; 9 – емкость для воздухововлекающей добавки; 10 – аэросмеситель скоростной турбулентного типа; 11 – формы металлические; 12 – формообразующие рамки; 13 – дозатор воды; 14 – емкость для смазки форм; 15 – тельфер; 16 – пропарочная камера; 17 – автопогрузчик; 18 – трактор

Материал не горюч, экологически безвреден. Гладкая поверхность не требует оштукатуривания, достаточно грунтовок и покраски. Материал пилится, гвоздится, фрезеруется. Невысокая цена, его габариты и масса делают СКАБ привлекательным для индивидуального застройщика при возведении зданий малой этажности: коттеджное строительство, возведение сельскохозяйственных построек, хозблоков, гаражей и т. п.

Аэрированная легкобетонная смесь (АЛБ) легко транспортируется пневмоустановкой или растворонасосом и может использоваться для устройства монолитных стен коттеджей как в утепленной несъемной, так и в сборноразборной опалубке.

Еще в самом начале XX в. в Санкт-Петербурге, Москве, Нижнем Новгороде и других городах России появились станки «Москва», «Цубербиллер» и др., работавшие по принципу удара: бетонная смесь жесткой консистенции, содержащая портландцемент, песок и щебень, помещалась в форму с пустотообразователями (пуансонами), уплотнялась штыкованием, трамбованием и после твердения в течение 21–28 дней отправлялась потребителю. Формовочная смесь готовилась из расчета: одна часть портландцемента, не более трех частей песка или измельченного шлака, не более пяти частей щебня (гравия). Производство пустотелых бетонных камней велось согласно ВТУ, принятым XIII Цементным съездом в Петрограде 15 мая 1910 г. [128].

В 1940–1950-х гг. появились станки вибрационно-ударного действия для производства стеновых камней из шлакобетона и опилкобетона; производительность станков возросла. В 1960–1970-х гг. стали внедряться технологические автоматизированные линии по производству стеновых вибропрессовых камней из легких бетонов на пористых заполнителях (керамзите, аглопорите, термозите, вспученном перлите, вермикулите и др.).

Технические характеристики стеновых изделий, выпускаемых отечественными заводами, показаны в табл. 2.19.

Современные пустотелые стеновые камни-блоки выпускают рустованными, с фактурой, не требующей дополнительного оштукатуривания. Выпускаются и теплоизоляционно-конструктивные элементы – стеновые бетонные блоки с вкладышами из пенополистирола и пенополиуретана. Технические характеристики стеновых блоков (ГОСТ 19010–82 «Блоки стеновые бетонные и железобетонные для зданий. Общие технические условия») представлены в табл. 2.20.

Таблица 2.19

## Технические характеристики огнестойких стеновых изделий

Изделие	Нормативный документ	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности при сжатии, МПа	Морозостойкость, циклы
Камни бетонные стеновые: – эффективные – условно эффективные – тяжелые	ГОСТ 6133–99	<1400	2,5; 3,5; 5; 7,5; 10,0; 12,5; 15; 20	15; 25; 35; 50; 75
		1401–1650		
		>1650		
Кирпич и камни силикатные	ГОСТ 379–2015	1800	7; 5; 10; 12,5; 15; 17,5; 20; 25; 30	15; 25; 35; 50
Бетоны ячеистые: – конструктивно-тепло- изоляционные	ГОСТ 25485–89	500	2,5	35–50
		600	3,5	
		700	2–5	
		800	2,5–7,5	
		900	2,5–10	

Ряд фирм выпускает полнотелые стеновые камни из керамзитобетона со средней плотностью 800–1200 кг/м<sup>3</sup>, В5–7,5, теплопроводностью 0,25–0,40 Вт/м · К и морозостойкостью F-25,35. Кроме того, выпускаются изделия со сниженной массой и повышенными теплотехническими показателями – стеновые камни и блоки с термовкладышами из пенополиуретана или пенополистирола. Они сочетают лучшие свойства традиционных керамзитобетонных элементов и высокую теплоизоляционную способность поропластов. Например, фирма НВ-Betoni (Финляндия) выпускает набор теплоизоляционно-конструктивных элементов «НВ-Изоблок»: стандартные (рядные) – 590×290×190 мм и 590×240×190 мм; угловые (правого и левого исполнения) – 590×290×190 мм; П-образные. Подобные элементы выпускает и фирма «Дюрисол».

Таблица 2.20

**Технические характеристики стеновых блоков компании «Меликонполар»**

Изделие, марка	Габариты (l×b×h), мм	Масса, кг	Класс бетона по прочности на сжатие	Морозостой- кость, циклы	Количе- ство, шт.	
					в пакете	в 1 м <sup>3</sup>
Стеновой блок бетонный пустотелый (рядовой) СКЦ-1Р-01	390×190×188	17,0	В15	50	60	72
Стеновой блок облицовоч- ный бетонный пустотелый (ромб) СКЦ-1Л-04	390×190×188	17,8	В15		48	72
Стеновой блок перегород- очный бетонный пустоте- лый СКЦ-2Л-02	390×90×188	11,4	В7; В12,5		132	151
Стеновой блок облицовоч- ный бетонный пустотелый «Сплиттер» СКЦ-2Л-03	390×120×188	15,0	В15; В12,5		80	113

Российская фирма «Тест» производит замковые стеновые блоки. Замковый блок прост в обращении: монтаж стены напоминает сборку элементов детского конструктора. Эти блоки применяются для строительства коттеджей, дач, гаражей и т. п. Для повышения термического сопротивления ограждения и снижения продуваемости пустоты заполняются теплоизоляционным материалом.

Фирма «Стройсервис» (Санкт-Петербург) выпускает перспективный строительный материал – стеновой камень из неавтоклавного аэрированного легкого бетона (СКАБ, разработка СПбГАСУ), который готовится в скоростном аэро-смесителе турбулентного типа.

### ***Расчет мощности цеха СКАБ и потребности в сырье и материалах***

Мощность опытного цеха была определена исходя из производства СКАБ в объеме  $10 \text{ м}^3$  в смену. Годовой фонд рабочего времени (по нормам технологического проектирования) – 255 суток.

Годовая мощность цеха при двухсменной работе:  $20 \cdot 255 = 5100 \text{ м}^3$ .

С учетом потерь материалов при заливке, распалубке, складировании фактическая годовая мощность цеха составит  $5100 \cdot 1,1 = 5610 \text{ м}^3$ .

Суточная производительность цеха –  $5610 : 255 = 22 \text{ м}^3$ , или  $22 \cdot 63 = 1386 \text{ м}^3$  стеновых камней размером  $190 \times 190 \times 390 \text{ мм}$ .

Доставка песка осуществляется автотранспортом на склад открытого типа. Загрузка песка в приемный бункер осуществляется бульдозером или непосредственно автосамосвалом. В бункере устанавливаются тепловые регистры для размораживания песка в зимнее время. Полезный объем бункера составляет 80 % его геометрического объема. Объем склада песка (при 5–7-дневном запасе) составляет 71,5–100,1 т, или 47,7–66,73  $\text{м}^3$ . Площадь склада:

$$F = \frac{V_c}{qK_{ис}},$$

где  $V_c$  – объем склада,  $\text{м}^3$ ;  $q$  – количество материалов, укладываемых на  $1 \text{ м}^2$  площади склада. Для открытого склада  $q = 3\text{--}4 \text{ м}^3/\text{м}^2$  (при высоте укладки 3–4 м),  $K_{ис} = 0,7\text{--}0,8$ ,  $F = 36 \text{ м}^2$ .

При необходимости на складе песка устанавливается виброгрохот с ячейками  $10 \times 10 \text{ мм}$  для устранения крупных примесей. Подача песка в расходный бункер осуществляется элеватором или транспортом.

Воздухововлекающие добавки и добавки-ускорители хранятся в закрытых емкостях в количестве, обеспечивающем 30-суточную работу цеха. Предварительно приготавливается раствор заданной концентрации, который хранят в закрытых емкостях.

Составляющие бетонной смеси дозируют по массе или по объему в бункеры, рассчитанные на один замес, в соответствии с рекомендованным составом (табл. 2.21).

Таблица 2.21

## Состав аэрированного легкого бетона

Наименование материалов	Расход компонентов на 1 м <sup>3</sup> бетонной смеси	Расход на один замес
Портландцемент, кг	300	100
Песок, кг	650	217
Пористый заполнитель, л	400	133,3
Вода, л	500	167
ОП-7, л	0,8	0,27

Фактический расход природного песка и пористого заполнителя пересчитывается с учетом их естественной влажности.

Объем одного замеса составляет 325 л (21 стеновой камень) на одной форме при коэффициенте выхода  $k = 0,65$  и объеме аэросмесителя, равном 500 л.

### **Технологический процесс производства СКАБ на пористых заполнителях и разработка формооснастки**

Для начала покажем, как выглядит действующий цех (рис. 2.9–2.12).



Рис. 2.9. Цех СКАБ: 1 – скоростной аэросмеситель турбулентного типа; 2 – самоходная тележка; 3 – пневмозатвор; 4 – лоток для подачи аэрированной легкобетонной смеси; 5 – электродвигатель; 6 – ременной шкив для скоростного перемешивания; 7 – поддоны стальные; 8 – съемные стальные рамки



Рис. 2.10. Установка съемных рамок на поддоны с помощью тельфера



Рис. 2.11. Металлические поддоны с отформованными СКАБ после снятия рамок



Рис. 2.12. «Этажерка» с поддонами и СКАБ для временного внутрицехового складирования

Предусмотрены пять формовочных постов. Продолжительность технологического цикла на один пост формовки составляет 15 мин и на пять постов – 1 час 20 мин. Это позволяет после укладки бетонной смеси на пятом формовочном посту снимать рамку на 1-м посту, поскольку пластическая прочность свежеотформованных изделий, обеспечивающая целостность стеновых камней, обеспечивается через 30–50 мин. Снимают стеновые камни с металлических поддонов и складировуют их на деревянные европоддоны через сутки твердения. На рис. 2.9–2.12 показаны рабочие моменты изготовления СКАБ.

Применительно к методу пластического формования СКАБ нами была сконструирована специальная стальная формооснастка. Для обеспечения бесперебойной работы цеха, исходя из суточной производительности, равной 20 м<sup>3</sup>, были разработаны и изготовлены съемные рамки размером 1212×1428 мм из листовой стали толщиной 6 мм. При этом значительно возросла производительность труда при формовке и распалубке изделий.

По мере продвижения аэросмесителя заполняются формы, и к моменту окончания движения первая форма готова к распалубке, свежеотформованные изделия остаются на поддоне и направляются в камеру дозревания и далее на склад. Пропаривание в данном случае не предусматривается. Скорость процессов схватывания регулируется изменением температуры воды затворения и введением жидкого стекла и Na<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub>. Температура свежеприготовленной смеси за счет скоростного турбулентного перемешивания и абразивного действия песка повышается на 10–15 °С. Необходимая пластическая прочность смеси обеспечивается через 30–45 мин, что способствует ускорению распалубки изделий. В зимнее время предусматривается использование воды затворения с  $t = 50\text{--}60$  °С. В этом случае на выходе из аэросмесителя АЛБ-смесь имеет температуру 30–35 °С.

### ***Факторы, влияющие на кинетику изменения пластической прочности АЛБ-смесей***

По разработанной технологии блоки из АЛБ-смесей изготавливаются способом литья, подвижность формовочных смесей изменяется в пределах 13–14 см. Для сокращения продолжительности выдержки блоков в формах необходимо ускорять процессы схватывания и твердения в раннем возрасте. Прочность, достаточную для удаления бортовой оснастки, необходимо обеспечить не позднее одного часа после заливки смеси в форму.

Такие требования обусловлены тем, что в заводских условиях нами использовались съемные стальные рамки, позволяющие почти в двое сократить расходы на формооснастку.

Пластическая прочность АЛБ-смесей определена на пластомере МГУ. Результаты испытаний приведены на рис. 2.13.

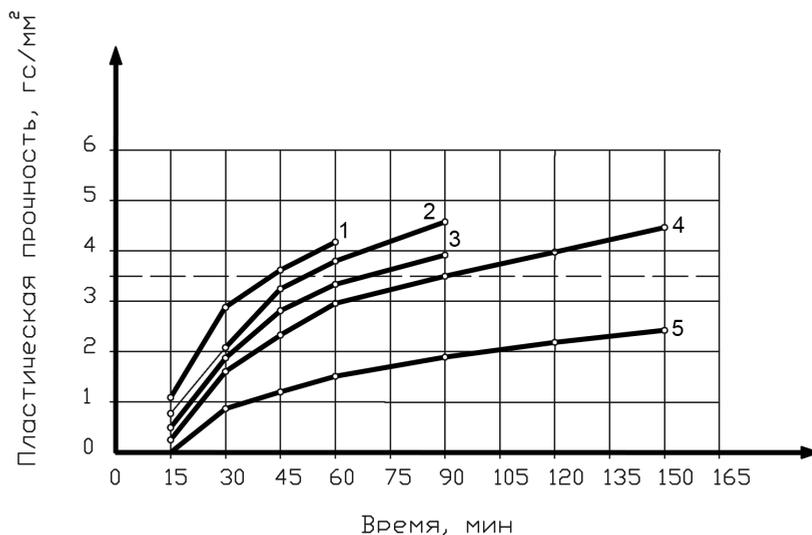


Рис. 2.13. Кинетика изменения пластической прочности легкобетонной смеси: 1 – АЛБ, приготовленный в аэросмесителе; 2 – то же с подогревом воды затворения до 60 °С; 3 – приготовление в раствормесителе; 4 – АЛБ, приготовленный в аэросмесителе с добавлением 5%-ного жидкого стекла; 5 – то же с добавлением  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$  (состав: портландцемент – 270 кг, песок – 600 кг, хвойные опилки – 60 кг, вода – 260 л, ОП-7 – 0,75 л)

Установлено, что при величине 3,5 г/мм<sup>2</sup> пластической прочности (ПП) АЛБ-смесей наступает распалубочная прочность свежеотформованных стеновых камней.

Из рис. 2.13 следует, что для удаления бортовой оснастки через час после начала формования необходимо либо повысить температуру воды до 60 °С, либо вводить ускоритель, например кремнефторид натрия.

Температура АЛБ-смеси повышается в скоростном смесителе.

Результаты определения температуры АЛБ-смесей приведены на рис. 2.14.

Перемешивание в течение 5 мин приводит к повышению температуры с 18 до 30 °С. Следует также отметить изменение рН глубокой фазы (рис. 2.15). После двух минут перемешивания в скоростном аэросмесителе смеси рН воз-

растает с 7 до 12. Это свидетельствует об ускорении процессов растворения и гидратации вяжущего в аэросмесителе, а это, в свою очередь, приводит к повышению прочности АЛБ.

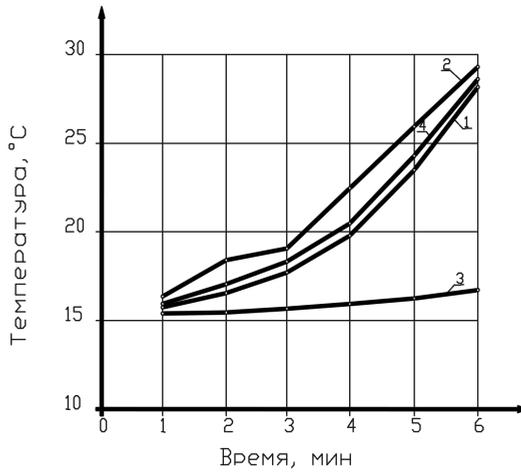


Рис. 2.14. Зависимость температуры АЛБ-смеси от времени перемешивания: 1 – аэрированный перлитобетон; 2 – аэрированный вермикулитобетон; 3 – опилкобетон, приготовленный в обычном смесителе; 4 – аэрированный опилкобетон

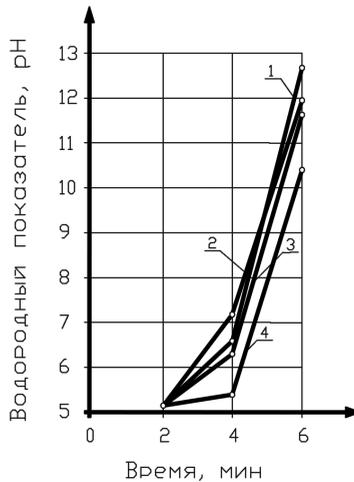


Рис. 2.15. Зависимость pH жидкой фазы от продолжительности перемешивания бетонной смеси: 1 – перлитобетонная смесь, приготовленная в аэросмесителе; 2 – вермикулитобетонная смесь, приготовленная в аэросмесителе; 3 – опилкобетонная смесь, приготовленная в аэросмесителе; 4 – опилкобетонная смесь, приготовленная в обычном смесителе

Определено также влияние жидкого стекла на скорость процессов схватывания и начального твердения АЛБ-смеси, а также на прочность изделий.

Результаты исследований приведены в табл. 2.21.

Введение жидкого стекла с  $\rho = 1,4 \text{ г/см}^3$  и кремнефторида натрия практически не изменяет температуру АЛБ-смеси, но сокращает продолжительность выдержки изделия в форме за счет ускорения процессов гидратации и твердения.

Таблица 2.21

### Техническая характеристика изделий из АЛБ

Наименование	Основные свойства							Сопротивление удару
	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности при сжатии, МПа	Теплопроводность, Вт/м · К	Показатель звукоизоляции от воздушного шума, дБ, не менее	Размеры, мм			
					Длина	Ширина	Высота	
Стеновые камни	900–1000	3,5–7,5	0,27–0,3	–	190	190	390	10–25
Плита перегородок	800–1100	2,5–5	–	35	900	300	80	5–16

На изделия из АЛБ разработаны технические условия (ТУ 5741-001-02068580-02) и заводской технологической регламент. Производство СКАБ – 5000 м<sup>2</sup> в год (начиная с 1990 г.).

Опытные цеха по производству стеновых камней из аэрированного легкого бетона (СКАБ) введены в эксплуатацию при нашем участии в октябре 1991 г. (г. Луга, промбаза Леноблагростоя), в июне 1996 г. (ООО «Новые Технологии» г. Ломоносов), в мае 2001 года на строительной базе в п. Рыбацком (Санкт-Петербург).

## 2.6. Особенности производства плит перегородок из АЛБ на пористых заполнителях

По заказу ЗАО «Строймонтаж» для использования на объектах строительства нами была выпущена опытная партия плит перегородок из АЛБ (см. табл. 2.21)

## 2.6. Особенности производства плит перегородок из АЛБ на пористых заполнителях

с использованием различных минеральных и органических заполнителей. Был проведен технико-экономический анализ продукции заводов-производителей плит перегородок из легких бетонов.

Установлено, что средняя плотность плит должна быть не более  $1100 \text{ кг/м}^3$  для высшей категории качества и  $1350 \text{ кг/м}^3$  – для первой категории качества. Предел прочности при сжатии – не менее 3,5 МПа.

Особенности приготовления АЛБ, универсальность работы скоростного аэросмесителя позволят производить как теплоизоляционные, так и конструктивно-теплоизоляционные бетоны (рис. 2.16). Как будет показано ниже, эта технология может быть использована в производстве плит для устройства межкомнатных и межквартирных перегородок, а также при производстве перегородок специального назначения.



Рис. 2.16. Приготовление плит перегородок из АЛБ в построечных условиях:  
1 – формы для изготовления плит  $900 \times 600 \times 80$  мм; 2 – формы, заполненные АЛБ-смесью

При подборе составов АЛБ для производства плит перегородок наряду с хвойными опилками в качестве высокопористого заполнителя использовались отходы производства пенополистирола (ППС) завода «Изотэк», г. Колпино, и экструзионного ППС (ЗАО «Пеноплекс», г. Кириши), основные свойства которых представлены в табл. 2.22.

Использование в производстве АЛБ таких заполнителей, как частицы ППС с насыпной плотностью  $10\text{--}22 \text{ кг/м}^3$  в количестве  $400\text{--}500 \text{ л/м}^3$  бетона, позволяет получать легкие бетоны с  $\rho = 700\text{--}800 \text{ кг/м}^3$ ,  $R_{сж}^{28} = 2,0\text{--}3,5$  МПа. Это близко техническим показателям газобетонов автоклавного синтеза, которые используются для производства плит перегородок и стеновых камней.

### Приготовление АЛБ с использованием органических наполнителей

Анализ технических свойств органических отходов показал, что частицы экструзионного ППС обладают меньшим водопоглощением по сравнению с аналогичным показателем бисерного, а также и хвойных опилок. По сравнению с опилками ППС имеет меньшие показатели насыпной плотности  $\rho_{\text{ППС}}^{\text{н}} = 10\text{--}22 \text{ кг/м}^3$ ,  $\rho_{\text{оп}}^{\text{н}} = 120\text{--}190 \text{ кг/м}^3$ . Средняя плотность частиц в куске  $\rho_{\text{ППС}} = 25\text{--}45 \text{ кг/м}^3$ ,  $\rho_{\text{оп}} = 450\text{--}520 \text{ кг/м}^3$ . Теплопроводность  $\lambda_{\text{ППС}} = 0,035\text{--}0,040 \text{ Вт/м} \times \times \text{ К}$ ,  $\lambda_{\text{оп}} = 0,15\text{--}0,17 \text{ Вт/м} \cdot \text{ К}$ .

Таблица 2.22

Технические свойства отходов ППС

Предприятие-производитель	Вид ППС	Свойства						
		Форма частиц	Цвет	Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Водопоглощение, % по массе	Межзерновая пустотность, %	Теплопроводность, Вт/м · К
ООО «Изотэк»	Бисерный	Кусок неправильной формы	Белый	10	25	20,5	48,2	0,035
ЗАО «Пеноплекс»	Экструзионный	Стружка	Оранжевый	22	45	5	43,1	0,040

Последовательность подачи материалов в аэросмеситель отличалась от приготовления АЛБ-смеси для стеновых камней. Производственный опыт показал, что если засыпать в аэросмеситель куски пенополистирола последними, то эти частицы всплывают. Чтобы получить АЛБ-смесь с равномерно распределенными гранулами ППС, необходимо увеличивать время приготовления смеси на 1–2 мин. Поэтому готовилась смесь пористого органического наполнителя с песком (отходы ППС + природный песок или отходы ППС + хвойные опилки + природный песок), которая загружалась в аэросмеситель после приготовления поризованного цементного теста. Такая последовательность приготовления АЛБ-смеси была принята в связи с тем, что частицы ППС, если их

## 2.6. Особенности производства плит перегородок из АЛБ на пористых заполнителях

вводить в аэросмеситель последними, долгое время равномерно не распределяются по всей массе смеси.

Таблица 2.23

**Составы и свойства оптимальных составов АЛБ на пористых заполнителях для плит перегородок**

Вид материала и свойства АЛБ	Расход материала на 1 м <sup>3</sup> АЛБ, кг			
	Состав № 1	Состав № 2	Состав № 3	Состав № 4
Портландцемент М-400	285	270	270	260
Природный песок	750	620	450	300
Пористый заполнитель, л	Вспученный вермикулит, 400	Вспученный перлит, 400	Хвойные опилки – 200, отходы ППС – 200	Отходы ППС – 400
ОП-7, л	0,7	0,7	0,75	0,75
Вода	280	230	220	208
$R_{\text{прод. сж}}$ , МПа	5,7	5,2	3,8	2,1
$R_{\text{сж}}^{28}$ , МПа	7,8	7,2	4,8	2,5
$\rho_0$ , кг/м <sup>3</sup>	1185	1020	790	620
$\lambda$ , Вт/м · К	0,24	0,22	0,2	0,18

После разборки опалубки материал складировался в специально изготовленные поддоны и после 7-дневной выдержки в цехе мультикармом вывозился под погрузку автотранспортом.

Опытная партия плит перегородок размером 900×300×80 мм, техническая характеристика которых представлена в табл. 2.23, использовалась на строительстве жилого дома (застройщик ЗАО «Строймонтаж»). По отзывам монтажников, блоки из АЛБ имеют четкие геометрические размеры, гладкую поверхность, не требующую оштукатуривания.

В лабораторных условиях в выпуске опытных партий и промышленном производстве АЛБ и изделий на их основе нами использовались следующие виды пористых заполнителей.

*Вспученный перлит* производства ООО «Петроперлит» (Санкт-Петербург) непрерывного зернового состава марки 100, отвечающий требованиям ГОСТ 10832–91 «Песок и щебень перлитовые вспученные». Цвет частиц – беловато-серова-

тый; форма зерен – сферическая; насыпная плотность – 60–100 кг/м<sup>3</sup>. Является продуктом обжига вулканической породы – перлита Арагацкого месторождения (Армения).

Основные технические свойства вспученного перлита и вермикулита приведены в табл. 2.24.

Таблица 2.24

## Технические характеристики вспученных перлита и вермикулита

Наименования свойств	Вспученный перлит	Вспученный вермикулит
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	60–100	100–150
Истинная плотность, г/см <sup>3</sup>	2,35	2,40
Истинная пористость, %	82,9	79,2
Пористость, включая межзерновую пустотность, %	90–98	84–95
Температура обжига, °С	800–1020	1000–1150
Продолжительность обжига, с	12–30	2–7
Химический состав		
SiO <sub>2</sub>	65–80	36–41,2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,8–15	10,1–15,7
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + FeO	0,3–12	3,9–29
CaO	0,4–0,5	0,4–5,8
MgO	0,3–2,8	5,1–27,8
K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O	1,9–9,9	1,2–11,8
Потери при прокаливании	1–3	1,2–11,8
Водопоглощение за 24 часа, %		
по массе	300–500	150–300
по объему	40–60	30–70
Гигроскопичность, %	2–8	2–17
Теплопроводность, Вт/м · К	0,052–0,07	0,06–0,09
Коэффициент звукопоглощения при 1000 Гц	0,35–0,4	0,7–0,8
Относительная упругая деформация при $\sigma_{сж} = 0,015$ МПа	–	10–20
Форма зерен	Сферическая	Пластинчатая, кубообразная
Температура плавления, °С	1190–1250	1210–1350
Цвет	Серовато-белый	Серебристо-золотистый

## 2.6. Особенности производства плит перегородок из АЛБ на пористых заполнителях

Вспученный вермикулит непрерывного гранулометрического состава марки 150, отвечающий требованиям ГОСТ 12865–67 «Вермикулит вспученный» производства ЗАО «Слюдяная фабрика» (г. Колпино). Цвет вермикулита – золотистый, преобладающая форма зерен – кубическая, насыпная плотность – 100–150 кг/м<sup>3</sup>. Он является продуктом обжига разновидности гидрослюда – вермикулитового концентрата сырца производства ОАО «Ковдорслюда» (Мурманская область).

Вспученные перлит и вермикулит относятся к особо легким, высокопористым сыпучим материалам с малой механической прочностью частиц. Оба материала являются огне- и биостойкими, нетоксичными и долговечными.

Как показывают данные табл. 2.25, 2.26, вспученные перлит и вермикулит – эффективные тепло- и огнезащитные материалы. Являясь пористыми заполнителями в аэрированных растворах и бетонах, они существенно определяют их свойства. Так, сферическая форма зерен перлита обеспечивает большую пластичность смесей, более высокую прочность при сжатии. Достоинством зерен вермикулита, имеющего чешуйчатое строение, является его упругость, что обеспечивает трещиностойкость и низкие усадочные деформации АЛБ на его основе. У растворов с вермикулитом прочность при изгибе выше, чем у растворов с перлитом.

Таблица 2.25

**Зависимость насыпной плотности, пористости и пустотности вспученных заполнителей от размера зерен**

Вид пористого заполнителя	Наименования свойств	Фракции, мм				
		1,25–2,5	0,63–1,25	0,315–0,63	0,14–0,315	Менее 0,14
Вспученный перлит (Арагацкое месторождение, Армения)	Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	92	65	70	93	136
	Пористость общая, %	86,1	97,2	97	96,1	94,3
	Межзерновая пустотность, %	56,6	62,6	60,4	52,8	50
Вспученный вермикулит (Ковдорское месторождение, Мурманская область)	Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	116	127	150	252	450
	Пористость общая, %	95,2	94,7	96	89,5	81,3
	Межзерновая пустотность, %	76,2	63,1	69,9	72,4	75

Таблица 2.26

## Зерновой состав вспученных перлита и вермикулита

Остатки на ситах, %	Размер сит, мм					
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	Более 0,16
Перлит						
Частные	–	27	18	40	10	5
Полные	–	27	45	85	95	100
Вермикулит						
Частные	–	45	15	48	16	6
Полные	–	45	60	78	94	100

В работе мы использовали опилки хвойных пород, полученные в основном в результате распиловки бревен на лесопильных рамах промышленных предприятий ЛПЗ п. Рыбацкое и Невского ДОЗ г. Санкт-Петербурга. Фракции более 5 мм отсеивались. Основные свойства хвойных опилок представлены в табл. 2.27. Хвойные опилки обладают насыпной плотностью, близкой по значению плотности минеральных пористых материалов (вспученные перлит и вермикулит), имеют несколько меньшую общую пористость. Основные фракции опилок – 5÷0,63 мм (73,4–82,4 % по массе), что выше, чем у минеральных пористых заполнителей, и поэтому дают большую шероховатость поверхности изделий из АЛБ.

Таблица 2.27

## Основные свойства хвойных опилок

Наименование предприятия и вид опилок	Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Истинная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Истинная пористость частиц, %	Истинная пористость опилок, %	Водопоглощение по массе, %	Частные остатки на ситах, мм				
							2,5	1,25	0,63	0,315	Менее 0,315
ЛПЗ пос. Рыбацкое, лесораменные	120–150	1490	520	60,4	89,9	200–250	52	21,4	19,6	5	2

Наименование предприятия и вид опилок	Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Истинная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Истинная пористость частиц, %	Истинная пористость опилок, %	Водопоглощение по массе, %	Частные остатки на ситах, мм				
							2,5	1,25	0,63	0,315	Менее 0,315
Невский ДОЗ, поперечной распиловки	140–190	1490	450	69,0	80,7	180–230	50,4	32,0	12,2	3	2,4

Хвойные опилки, полученные поперечной распиловкой и лесорамные, близки по своим свойствам и могут использоваться в производстве АЛБ.

Нами было установлено, что использование в АЛБ-смеси хвойных опилок, пролежавших на открытом воздухе в отвалах ДОЗ в течение двух лет и более, приводит к значительному замедлению сроков схватывания смеси иногда на 5–7 дней. Естественно, что их применение в качестве заполнителей недопустимо. Объясняется это явление нижеследующим.

Общеизвестно, что отходы лесопиления – опилки хвойных пород (сосны, ели, лиственницы, кедра, пихты, тиса и др.) содержат смоляные ходы, заполненные живицей – смолой. Последняя является своеобразным антисептиком – веществом, предохраняющим древесину от гниения.

Наша работа показала, что следует применять опилки, находившиеся в отвалах не более одного года. Неблагоприятные внешние факторы (кислород воздуха, ультрафиолетовое излучение, влажность, высокая температура воздуха) приводят к деструкции основной составляющей древесины – целлюлозы (C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>), превращая ее в сахарозу (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>). Последняя отрицательно влияет на процессы схватывания и твердения порландцемента и служит питательной средой для размножения грибов. В результате идут процессы образования гуминовых кислот, а далее разложение на воду и углекислый газ.

Одним из признаков изменений при хранении опилок – изменение их цвета (рис. 2.17, поз. 7, 8); при сжимании увлажненных опилок в руке происходит их слипание.

Учитывая вышеизложенное, мы в своей работе при приготовлении АЛБ и изделий на его основе старались минимизировать возможные негативные воздействия опилок на цементный камень в АЛБ:

1. Применялись опилки только хвойных пород.

2. Содержание опилок в АЛБ было сведено к минимуму и не превышало 400 л/м<sup>3</sup>, или 50–60 кг на 1 м<sup>3</sup> СКАБ. К примеру, на производство 1 м<sup>3</sup> арболита идет 160–240 кг органического заполнителя.

3. Использовались хвойные опилки, возраст которых не превышал шести месяцев.

4. В ряде случаев, например при регулировании (ускорении набора пластической прочности) СКАБ, возможна дополнительная минерализация и антисептирование опилок за счет применения жидкого стекла с кремнефторидом натрия ( $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ ),  $\text{CaCl}_2$ .



Рис. 2.17. Пористые заполнители для приготовления аэрированных легких бетонов: 1 – вспученный вермикулит; 2 – вспученный перлит; 3 – отходы (стружка) экструзионного пенополистирола; 4 – отходы пенополистирола; 5 – мелкозернистые опилки (хвойные); 6 – крупнозернистые опилки хвойные; 7, 8 – хвойные опилки после длительного хранения в отвалах (2–3 года)

При подборе составов АЛБ для производства плит перегородок с хвойными опилками в качестве легкого пористого заполнителя нами использовались отходы пенополистирола (ППС) производства завода «Изотэк», г. Колпино, размером кусков до 50 мм, основные свойства которого представлены в табл. 2.28. Готовилась смесь (отходы ППС + природный песок или отходы ППС + хвойные опилки + природный песок), которая загружалась в горловину аэросмесителя после приготовления поризованного цементного теста. Как показал ситовой анализ полученных АЛБ-материалов, куски ППС при перемешивании в аэросмесителе измельчались до размера гранул диаметром 3–8 мм, которые равномерно распределяются в АЛБ. Опыт показал также, что если засыпать в аэросмеситель куски пенополистирола последними, то эти частицы всплывают, что требует дополнительного перемешивания смеси (увеличение продолжительности приготовления смеси на 30–40 %).

## 2.6. Особенности производства плит перегородок из АЛБ на пористых заполнителях

Промышленные отходы экструзионного пенополистирола завода «Пеноплекс» (г. Кириши) в отличие от кусков бисерного пенополистирола имеют вытянутую форму и более мелкие.

Таблица 2.28

Технические свойства отходов ППС

Изготовитель	Вид ППС	Свойства						
		Форма частиц	Цвет	Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Плотность в куске, кг/м <sup>3</sup>	Водопоглощение, % по массе	Межзерновая пустотность, %	Теплопроводность, Вт/м · К
ООО «ИзоТЭК»	Бисерный	Куски	Белый	10	25	20,5	48,2	0,035
ЗАО «Пеноплекс»	Экструзионный	Стружка	Оранжевый	22	45	5	43,1	0,04

Использование в производстве АЛБ таких особо легких заполнителей, как ППС с насыпной плотностью 10–15 кг/м<sup>3</sup> в количестве 400–500 л/м<sup>3</sup>, позволяет получать бетоны с  $\rho_0 = 700\text{--}800$  кг/м<sup>3</sup>,  $R_{сж} = 2,0\text{--}3,5$  МПа. Это близко к техническим показателям газобетонов автоклавного синтеза, которые используются для производства плит и камней перегородок.

Анализ отходов показал, что частицы экструзионного ППС обладают меньшим водопоглощением по сравнению с аналогичным показателем бисерного, а также хвойных опилок. По сравнению с опилками отходы ППС имеют значительно меньшие показатели насыпной плотности:  $\rho_{ППС}^H = 10\text{--}22$  кг/м<sup>3</sup>,  $\rho_{опилок}^H = 125\text{--}150$  кг/м<sup>3</sup>, средняя плотность частиц  $\rho_{ППС} = 25\text{--}45$  кг/м<sup>3</sup>,  $\rho_{опилок} = 450\text{--}500$  кг/м<sup>3</sup>. Теплопроводность  $\lambda_{ППС} = 0,035\text{--}0,040$  Вт/м · К,  $\lambda_{опилок} = 0,15\text{--}0,17$  Вт/м · К.

Поскольку все вышеперечисленные свойства пористых заполнителей влияют на технические свойства АЛБ, это учитывалось при производстве изделий на его основе. Так, например, особо легкие пористые заполнители – отходы ППС использовались в производстве плит перегородок с плотностью 700–800 кг/м<sup>3</sup>.

### **Песок природный**

В качестве мелкого заполнителя в АЛБ использовался природный (морской) песок двух карьеров г. Санкт-Петербурга: Турухтанные острова и Уткина заводь, удовлетворявший требованиям ГОСТ 8736–85 «Песок для строительных работ. Общие требования» (табл. 2.29, 2.30).

Таблица 2.29

#### **Гранулометрический состав природного песка по EN 196-6**

Остатки на ситах	Размер сит, мм							
	4	2	1	0,5	0,25	0,0125	0,063	Поддон
Частные, %	0	2,67	7,62	50,66	29,63	7,62	0,91	0,89
Полные, %	0	2,67	10,29	60,95	90,58	98,2	99,11	100

Таблица 2.30

#### **Гранулометрический состав природного песка по ГОСТ 8735–88**

Остатки на ситах	Размер сит, мм					
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	Более 0,16
Частные, %	0	26,5	27,0	27,5	10,5	8,5
Полные, %	0	26,5	53,5	81,0	91,5	100

Ситовый анализ показал, что использованный песок имеет модуль крупности 1,3–1,5, то есть относится к мелким пескам; насыпная плотность колеблется в пределах от 1550 до 1650 кг/м<sup>3</sup>. Выбор мелкого песка обусловлен результатами ранее проведенных исследований [9, 135, 136], показавших, что использование именно такого песка обеспечивает снижение деформаций АЛБ (частицы песка не «гасят» мелкие пузырьки воздуха, образующиеся в процессе смешивания в скоростном аэросмесителе). Кроме того, мелкие пески обеспечивают ровную и гладкую поверхность изделий, в результате не требуют оштукатуривания (достаточно шпатлевания и последующей отделки – покраски или оклейки обоями и т. п.).

## 2.7. Алгоритм построения оптимальной структуры производства изделий из АЛБ на пористых заполнителях

Анализ литературных данных, многолетний опыт работы экспериментальных цехов по производству СКАБ, знакомство с методиками разработки оптимальных решений в технологии легких бетонов позволили нам разработать алгоритм построения оптимальной технологии производства изделий из АЛБ. Предварительно были систематизированы производственные факторы, влияющие на технические свойства изделий из аэрированных легких бетонов на пористых заполнителях, а также выявлены контролируемые технологические параметры производства. Это отражено на рис. 2.18.

На рис. 2.19 представлены основные структурно-логические связи между блоками, начиная от задания на проектирование состава АЛБ до разработки технических условий и технологического регламента.

*Блок 1.* Задание на проектирование состава АЛБ определяется видом выпускаемых изделий из него и областью применения. В нашем случае это стеновые камни и плиты из перегородок. Для первых из них важнейшими свойствами являются прочность, удобоукладываемость, средняя плотность, теплопроводность и морозостойкость. Для вторых, наряду с перечисленными, – показатели звукоизоляции от воздушного шума. Требования и технические свойства АЛБ и изделий из него излагаются в проекте производства работ (ППР) и нормативных документах (ГОСТ и ТУ).

*Блок 2.* Выбор исходных материалов базируется на основании проработки литературных данных, анализа рынка, стоимости и опыта производства изделий-аналогов, результатов патентного поиска. В нашей работе применялись материалы отечественного производства исходя из требований к ним соответствующих нормативных документов, их стоимости и из опыта применения в производстве АЛБ. Так, на основании анализа литературных данных мы остановили свой выбор на традиционном гидравлическом вяжущем – портландцементе, молотом природном песке с  $M_{кр} = 1,1-1,5$ , ПАВ – ОП-7 и сульфоноле, хорошо зарекомендовавших себя в производстве АЛБ. Что касается пористых заполнителей, то наряду с достаточно хорошо изученными вспученными перлитом и вермикулитом мы исследовали свойства и их влияние на качество АЛБ таких органических заполнителей, как хвойные опилки и отходы ППС.

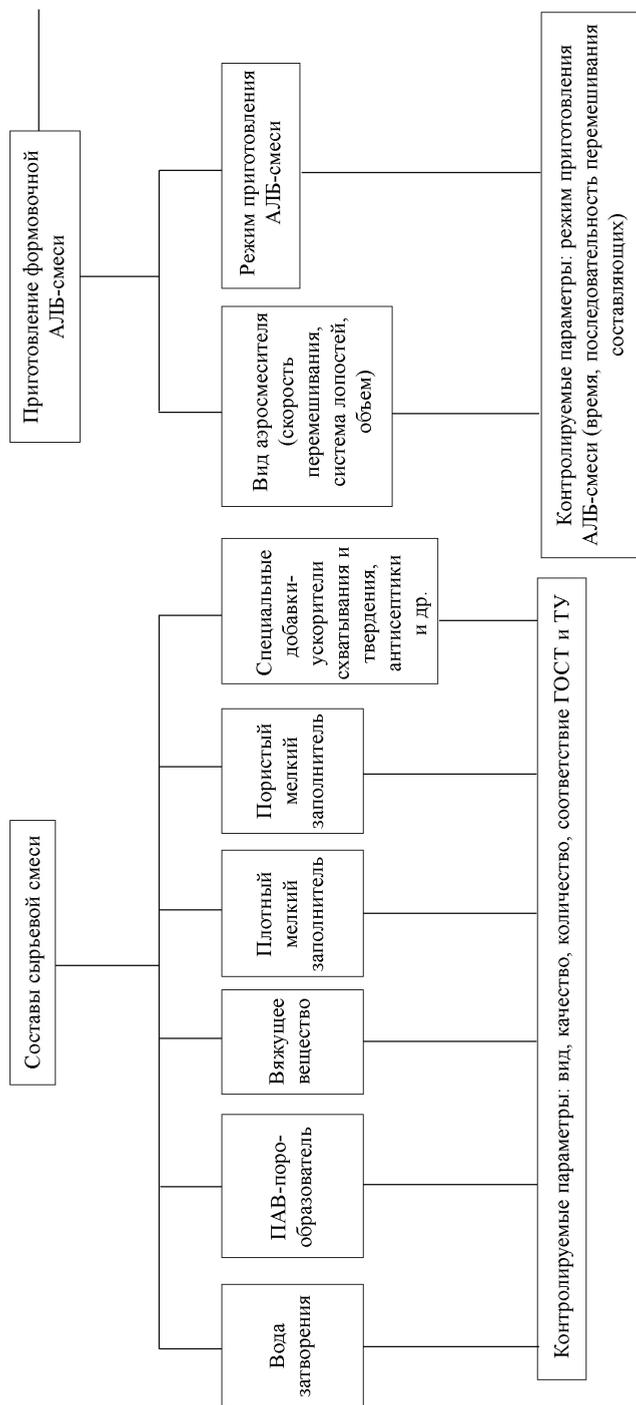


Рис. 2.18, начало. Основные производственные факторы, влияющие на технические свойства изделий из аэрированных легких бетонов (АЛБ) на пористых заполнителях, а также контролируемые технологические параметры

2.7. Алгоритм построения оптимальной структуры производства изделий из АЛБ...

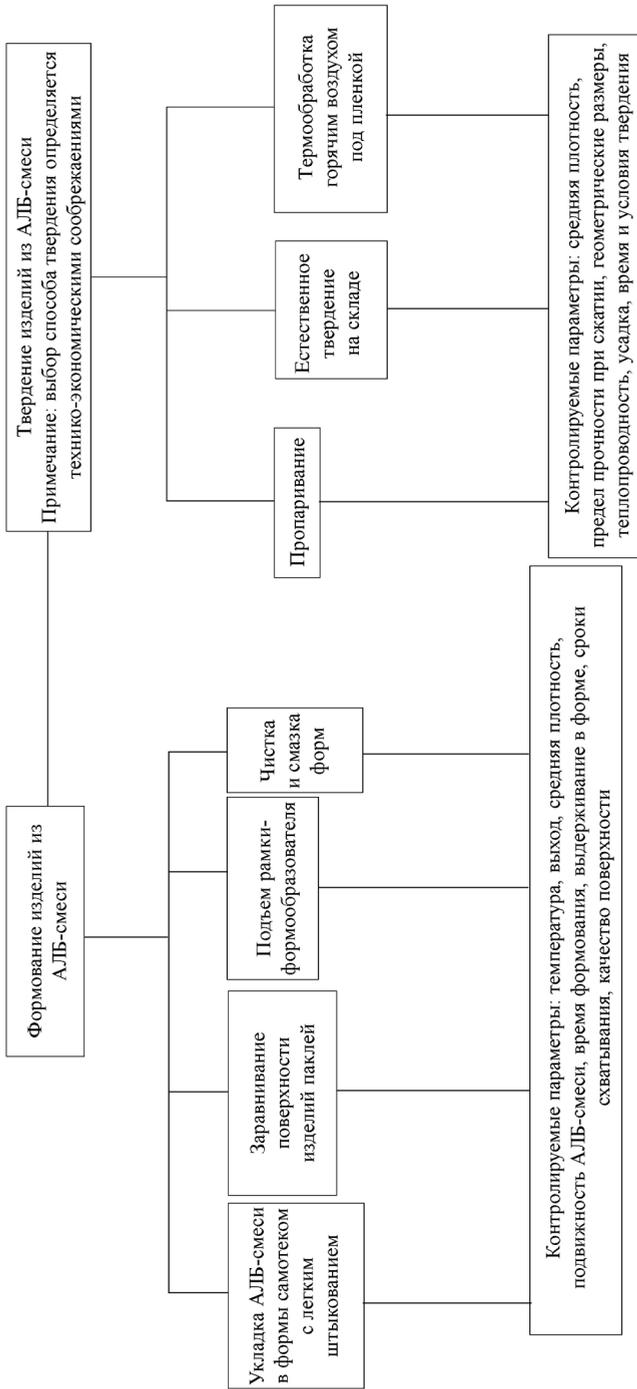


Рис. 2.18, окончание

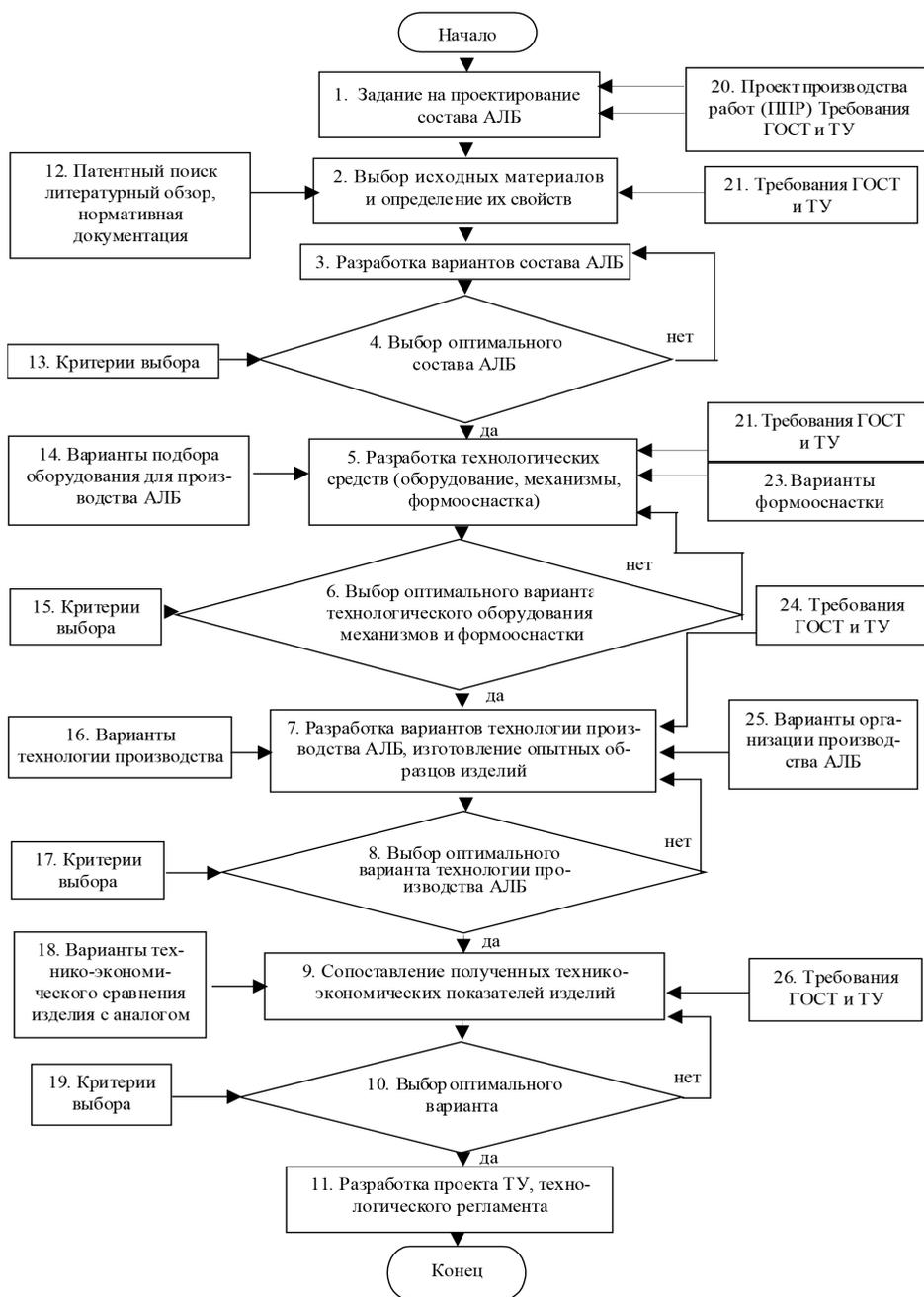


Рис. 2.19. Алгоритм оптимальной структуры производства изделий из АЛБ на пористых заполнителях

## 2.7. Алгоритм построения оптимальной структуры производства изделий из АЛБ...

*Блок 3.* На этом этапе ведется подбор составов АЛБ методом «порových объемов» с использованием приемов математического планирования, исследование их свойств, в том числе малоизученных.

*Блок 4.* Выбор оптимального варианта для данного вида продукции выполняется на основе применения критериев оптимальности: минимума приведенных затрат – максимума экономической эффективности.

*Блок 5.* Разработка технологии производства АЛБ и изделий на его основе – подбор технологических средств производства, оборудования и механизмов, формооснастки. Важнейшими из них являются выбор смесителя и формооснастки, который зависит от технико-экономических показателей этого оборудования.

*Блок 6.* Выбор оптимального варианта средств механизации на основе принятых критериев оптимальности технологического оборудования, с принятой технологией работ и выбранным составом АЛБ-смеси.

*Блок 7.* Разработка вариантов технологии изготовления АЛБ производится исходя из минимизации трудозатрат, сокращения продолжительности приготовления формовочной смеси (ФС), времени формования изделий, выбора оптимизации условий твердения, технико-экономических показателей. Анализируются свойства опытных образцов изделий.

*Блок 8.* Выбор оптимального варианта технологии и организации производства изделий из АЛБ – основа для разработки проектно-технических решений по конкретному цеху.

*Блок 9.* Производится сопоставление технико-экономических свойств полученных изделий с аналогичной продукцией на строительном рынке. Например, данные СКАБ сравниваются с данными стеновых камней и блоков из ячеистых бетонов и легких бетонов на пористых заполнителях (керамзитобетон, арболит). Свойства плит перегородок из АЛБ сопоставляются со свойствами плит из ячеистых бетонов и гипсобетонов.

*Блок 10.* Выбор оптимального варианта производства АЛБ и изделий на его основе технико-экономического анализа с корректировкой по составу АЛБ и технологии приготовления изделий по схеме «цена – качество».

*Блок 11.* Разработка технических условий на изделия из АЛБ, технологического регламента их производства.

Представленный выше алгоритм построения оптимальной структуры производства может в дальнейшем быть основой для компьютерного обеспечения работы цеха СКАБ (рис. 2.19).

## 2.8. Расчет экономической эффективности работы опытного цеха СКАБ

### *Анализ технологического процесса производства СКАБ*

Исходя из годовой программы линии производства СКАБ 5100 м<sup>3</sup>, цех должен быть оборудован:

- пропарочной камерой;
- аэросмесителем емкостью 0,5 м<sup>3</sup>;
- тельфером грузоподъемностью 3 т;
- бункерами для сыпучих материалов и силосом для цемента;
- дозаторами;
- формооснасткой.

Аэросмеситель обеспечивает за один замес приготовление 0,3 м<sup>3</sup> легкобетонной смеси. Продолжительность приготовления одного замеса – 5 мин. Время на подготовку замеса – 5 мин. В час производится шесть замесов, что составляет  $0,3 \cdot 6 = 1,8$  м<sup>3</sup> бетонной смеси. В смену можно приготовить  $1,8 \cdot 3,2 = 14,76$  м<sup>3</sup>, что обеспечивает загрузку одной камеры. Учитывая  $k_1 = 0,8$  (коэффициент использования оборудования) и  $k_2 = 0,9$  (потери материалов при заливке, распалубке, складировании), реальная производительность цеха составит: в сутки  $14,76 \cdot 0,8 \cdot 0,9 \cdot 2 = 20,25$  м<sup>3</sup>;  $14,76 \cdot 0,8 \cdot 0,9 \cdot 2 \cdot 22 = 467,6$  м<sup>3</sup>; в год  $14,76 \cdot 0,8 \times 0,9 \cdot 2 \cdot 22 \cdot 1 \cdot 2 = 5611$  м<sup>3</sup> бетонной смеси. Таким образом, одна пропарочная камера размером 9,4×1,5×3,7 м и один аэросмеситель объемом 0,5 м<sup>3</sup> обеспечивают выполнение годовой программы.

Для производства СКАБ в объеме 5,1 тыс. м<sup>3</sup> в год требуется цемента 1683 т, песка – 3646,5 т, пенообразователя – 4,5 т, пористого заполнителя – 2250 м<sup>3</sup>. Потребность в сутки цемента 6,675 т, потребность песка в сутки 14,3 т, потребность пористого заполнителя 7,69 м<sup>3</sup>, пенообразователя – 17,6 л.

Ниже приведены расчеты затрат на изготовление 1 м<sup>3</sup> аэрированного бетона, а в табл. 2.31 – технико-экономические показатели строительства цеха производства СКАБ (в ценах 2008 г.).

Структура затрат на строительство цеха СКАБ: стоимость цеха ангарного типа площадью 360 м<sup>2</sup> приводится по данным предприятия-изготовителя по состоянию на 1.01.2008 (табл. 2.31). Стоимость формооснастки и бункеров-дозаторов на основании заводских расчетов расхода комплектующих (металлических) – стальное – по фактическим затратам. Суммарные капитальные затраты составляют 2 107 477,2 руб.

Таблица 2.31

**Технико-экономические показатели строительства цеха  
по производству СКАБ, цены 2008 г.**

Наименование показателей		Ед. изм.	Показатели
1	Годовая производственная программа:		
	– в натуральном выражении	м <sup>3</sup>	5100
	– в денежном выражении	руб.	53 003 049
2	Годовые затраты производства		4 093 158
3	Списочная численность работающих, в том числе рабочих	чел.	5
		чел.	4
4	Производительность труда:		
	– на одного работающего	м <sup>3</sup> /смена	2
	– на одного рабочего	м <sup>3</sup> /смена	2,5
5	Годовые расходы:		
	– электроэнергия	кВт · ч	101 592
	– вода	м <sup>3</sup>	1275
6	Ориентировочные капиталовложения на строительство цеха	руб.	2 107 477,2
	В том числе:		
	– на строительные-монтажные работы	руб.	1 045 248,75
	– оборудование, машины и механизмы	руб.	551 325
7	Прочие затраты	руб.	510 903,5
8	Основные производственные фонды	руб.	1 388 325
9	Годовая прибыль	руб.	1 154 130
10	Срок окупаемости капиталовложений	лет	1,83
	Рентабельность производства	%	23,07

**А. Расчет отпускной цены 1 м<sup>3</sup> изделий из АЛБ**

Наименование статей затрат	Единица измерения	Количество	Стоимость, руб.	
			Единицы	Всего
Материальные ресурсы	руб.			524,48
Основная зарплата рабочих	чел./ч	4	28,41	113,64
Дополнительная зарплата рабочих	%	15		17,05
Отчисления на соцстрахование	% от з/п	375		42,62
Накладные расходы	% от з/п	50		56,82
Итого				754,61
Прибыль	%	20/30		150,92–226,38
Всего:			905,09 / 980,99	
С учетом НДС			1086 / 1177,19	

**Б. Расход материалов и электроэнергии на 1 м<sup>3</sup> СКАБ,  $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup>, В-5**

Наименование статей затрат	Единица измерения	Количество	Стоимость, руб.	
			Единицы	Всего
Портландцемент М-400	т	0,3	1200	360
Песок морской	м <sup>3</sup>	0,5	200	100
Опилки хвойные	м <sup>3</sup>	0,4	52,5	20,8
Воздухововлекающая добавка ОП	м <sup>3</sup>	0,75	20,83	15,62
Вода водопроводная	м <sup>3</sup>	0,250	4,3	10,75
Расход электроэнергии	кВт · ч	19,92	0,92	17,66
Итого:			524,48	

Применение съемных рамок при производстве СКАБ позволило снизить металлоемкость формооснастки почти вдвое по сравнению с традиционно применяющимися формами с разъемно-откидными бортами. Это дало снижение капитальных затрат:  $147\ 000 - 18\ 375 = 128\ 625$  руб., что составляет 23,33 % всех затрат на оборудование, машины и механизмы. Кроме того, производительность труда по сборке-разборке формы, их чистке и смазке, а также распалубке свежетоформованных СКАБ повысилась в 1,5 раза.

Годовая программа цеха СКАБ в натуральном выражении – 5100 м<sup>3</sup>, в денежном выражении –  $905,53 \cdot 5100 = 4\ 618\ 203$  руб., где 905,53 руб. – отпускная цена за 1 м<sup>3</sup> СКАБ (при 20 % чистой прибыли). В случае отпускной цены, равной 980,99 руб. за 1 м<sup>3</sup> СКАБ (30 % прибыли), объем реализации составит 5 003 049 руб. Тогда чистая прибыль в год по варианту № 1 – 769 692 руб., по варианту № 2 – 1 154 130 руб., поскольку  $\text{окупаемость} = \text{капитальные затраты} / \text{чистая прибыль}$ ,  $\text{рентабельность} = \text{чистая прибыль} / \text{объем реализации}$ .

**Вариант № 1**

$$\text{Окупаемость} = 2\ 107\ 477,2 : 769\ 692 = 2,74 \text{ года.}$$

$$\text{Рентабельность} = 769\ 692 : 4\ 618\ 203 = 16,67 \%.$$

**Вариант № 2**

$$\text{Окупаемость} = 2\ 107\ 477,2 : 1\ 154\ 130 = 1,83 \text{ года.}$$

$$\text{Рентабельность} = 1\ 154\ 130 : 5\ 003\ 049 = 23,07 \%.$$

Полученные данные свидетельствуют о том, что строительство небольших цехов СКАБ экономически оправданно. При увеличении мощности цеха вдвое (два аэросмесителя) годовая производительность получается равной  $N = 10\,200 \text{ м}^3/\text{год}$  при двухсменной работе, при этом себестоимость продукции снизится. В целом можно констатировать, что в сравнении со стеновыми изделиями, выпускаемыми в России, СКАБ вполне конкурентоспособны. Об этом свидетельствуют приведенные ниже данные (табл. 2.32), а также технико-экономические показатели продукции – аналогов СКАБ.

### **Экономическая эффективность производства плит стеновых перегородок**

По результатам лабораторных и опытно-промышленных исследований были отобраны оптимальные составы АЛБ на основе различных пористых заполнителей для производства плит перегородок.

Для производства межкомнатных перегородок рекомендуются плиты, выполненные из АЛБ с применением в качестве пористых заполнителей хвойных опилок и отходов пенополистирола. Характерная их особенность – невысокая стоимость. В табл. 2.31 и 2.32 представлен расчет расхода стоимости материалов для приготовления плит из АЛБ со средней плотностью  $800 \text{ кг}/\text{м}^3$ , выполненных с применением различных пористых заполнителей.

Таблица 2.32

**Технико-экономические показатели плит перегородок на основе аэрированных бетонов и области их применения в строительстве**

Наименование	Состав 1	Состав 2	Состав 3	Состав 4
Вид пористого заполнителя	Вспученный вермикулит	Вспученный перлит, опилки	Опилки, пенополистирол	Пенополистерол
Средняя плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$	1200	1000	800	600
Предел прочности при сжатии, МПа	7,5–10	7,5	3,5–2,5	3,5–2,5
Горючесть	НГ	НГ	Г1	Г1
Показатель изоляции от воздушного шума при толщине 80 мм, дБ	50	42	38	34

Наименование	Состав 1	Состав 2	Состав 3	Состав 4
Вид пористого заполнителя	Вспученный вермикулит	Вспученный перлит, опилки	Опилки, пенополистирол	Пенополистерол
Морозостойкость	35	25–35	–	–
Отпускная цена, руб./м <sup>3</sup> на 01.01.2001	900–1000	800–1000	600	650
Рекомендуемые области применения	Перегородки: огнезащитные, для стен лифтовых шахт, межквартирные	Межквартирные и огнезащитные перегородки	Межкомнатные перегородки	Межкомнатные перегородки

Ориентировочный расчет стоимости организации производства плит перегородок из АЛБ проведен с учетом данных сотрудников ЗАО «Строймонтаж», исходя из суммарной стоимости годового выпуска изделий и приблизительной стоимости технологического оборудования. Годовой выпуск изделий планируется в количестве 20 000 м<sup>3</sup>, плит перегородок 900×600×80 мм, что составит 250 000 м<sup>2</sup> перегородок толщиной 80 мм и соответствует площади вводимого жилья около 300 000 м<sup>2</sup> в год. Максимальная себестоимость одного кубометра изделия 781,6 руб.

$$P = 20\,000 \cdot 781,6 : 29 = 539\,000 \text{ у. е.},$$

где 1 у. е. равняется 29 рублям.

В эту сумму входит стоимость производственной инфраструктуры и строительства самого корпуса площадью 1200 м<sup>2</sup>. Стоимость 1 м<sup>2</sup> принята ориентировочно равной 300 у. е. Тогда стоимость организации самого производства составит 539 000 – 1200 · 300 = 179 000 у. е.

Под годовую программу 20 000 м<sup>3</sup> изделий из АЛБ в год требуется четыре комплекта оборудования.

$$V = 3960 \cdot 4 = 15\,840 \text{ м}^3, P = 33\,880 \cdot 4 = 135\,520 \text{ у. е.}$$

## 2.8. Расчет экономической эффективности работы опытного цеха СКАБ

Стоимость одного кубометра изделия, приведенного к стоимости оборудования:

1-й вариант –  $179\,000 : 20\,000 = 8,95$  у. е.;

2-й вариант –  $135\,500 : 15\,840 = 8,55$  у. е.

Прибыль на  $1\text{ м}^3$  изделия составит 20 %, то есть 130 руб. Итого  $15\,840 \times 130 : 29 = 71\,000$  у. е.

При двухсменной работе производство окупается за два года. При организации работы в три смены производство – за полтора года.

Расчет экономической эффективности работы опытного цеха по СКАБ-производству изделий из аэрированных легких бетонов на пористых заполнителях, состоящего из отделения по производству стеновых камней размером  $190 \times 190 \times 300$  мм годовой производительностью 5,1 тыс.  $\text{м}^3$  изделий в год и отделения по изготовлению плит перегородок размером  $300 \times 900 \times 80$  мм такой же производительности, приводится ниже:

$$\mathcal{E}_1 = [(C_1 - C_2) - K]A,$$

где  $\mathcal{E}_1$  – годовой экономический эффект, руб.;  $C_1$  – отпускная цена за  $1\text{ м}^3$  керамзитобетонных блоков (прототипа);  $C_2$  – отпускная цена за  $1\text{ м}^3$  СКАБ;  $K$  – приведенные новые капитальные затраты в основные фонды на  $1\text{ м}^3$  СКАБ;  $A$  – годовая производительность,  $\text{м}^3$ .

При производстве СКАБ на хвойных опилках с  $\rho_0 = 1000\text{ кг/м}^3$  годовой экономический эффект составляет:

$$\mathcal{E}_1 = [(1638 - 1177,2) - 253\,725 : 5100]5100 = 2\,300\,355\text{ руб.}$$

При производстве плит перегородок с  $\rho_0 = 800\text{ кг/м}^3$  из АЛБ на хвойных опилках и отходов ППС экономический эффект будет равен:

$$\mathcal{E}_1 = [(1500 - 781,6) - 253\,725 : 5100]5100 = 2\,612\,883\text{ руб.},$$

где 1500 руб. – отпускная цена газобетонных плит с  $\rho_{\text{сп}} = 700\text{ кг/м}^3$ .

## Выводы по главе 2

1. Разработанный нами метод поровых объемов при подборе составов аэрированных легковесных смесей (АЛБ) с применением пористых заполнителей позволил перейти к более рациональному способу расчета составов этих бетонов по сравнению с применявшимся ранее методом пробных замесов на основе только эмпирических данных.

Расчеты показали, что АЛБ с  $\rho_{\text{ср}} = 1000\text{--}1200 \text{ кг/м}^3$  имеют истинную пористость  $\Pi_{\text{ист}} = 54\text{--}60 \%$ , при этом доля порового пространства, сформировавшегося за счет воздухововлечения при аэрировании состава в присутствии ПАВ (ОП-7) составил около 50 % от общего объема пор в материале.

В целом теплопроводность аэрированных бетонов ниже пенобетонов при равной плотности, что определяется мелкопористым строением цементной матрицы и наличием особо легких пористых заполнителей.

Метод поровых объемов наряду с расчетом объемов пор в АЛБ от аэрирования, воды затворения и наличия зерен вспученного заполнителя позволяет производить достаточно точно расчет расходов материалов.

Зная абсолютные объем твердой фазы, поровую структуру, количество и качество пор, варьированием составом и технологическими параметрами можно формировать различные строительные свойства АЛБ.

2. Впервые разработаны составы и исследованы свойства АЛБ с применением различных высокопористых заполнителей, вспученного перлита, вермикулита, отходов ППС, хвойных опилок для производства стеновых камней и плит перегородок. Получены материалы, отвечающие требованиям ГОСТ «Камни стеновые легковесные» и ТУ. Их основные характеристики:

- средняя плотность  $\rho_0 = 900\text{--}1200 \text{ кг/м}^3$ ;
- предел прочности при сжатии  $R_{\text{сж}}^{28} = 5,0\text{--}10,0 \text{ МПа}$  (класс АЛБ В-3,5 – В-7,5);
- теплопроводность  $\lambda = 0,25\text{--}0,33 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$ ;
- сорбционная влажность  $W_{\text{сорб}} = 6\text{--}8 \%$ ;
- морозостойкость  $F = 25\text{--}35$  циклов.

Характерными особенностями АЛБ также являются: малые усадочные деформации при твердении (менее 0,4 мм/м); высокая ударная прочность; изделия гвоздятся, пилятся и фрезеруются.

3. Один из составов АЛБ с использованием хвойных опилок, широко используемый в производстве стеновых камней, содержит из расчета на 1 м<sup>3</sup> изделий: портландцемент марки М400 Д20 – 270 кг, песок природный мелкозер-

нистый с модулем крупности  $M_{кр} = 1,5-2 - 600$  кг, хвойные опилки – 400 л, или около 80 кг, В/Ц = 0,8 – 0,9, ОП-7 – 0,75 л.

Средняя плотность и прочность АЛБ могут регулироваться следующими факторами: расходом воды, типом и расходом вяжущего, насыпной плотностью пористого заполнителя и его количеством, видом и количеством ПАВ, видом и режимом работы смесительной установки.

4. Исследованием влияния технологических факторов на ускорение набора пластической (распалубочной) прочности АЛБ (подогрев воды затворения до 60 °С, введение 5%-ного жидкого стекла и ускорителя твердения  $Na_2SiF_6$ ) отмечено ускорение набора пластической прочности АЛБ-смесей до значения 4,0–4,5 г/мм<sup>2</sup> спустя 30–45 мин после формовки изделий. В результате распалубка изделия (съем рамок) происходит через 30–45 мин с момента формования.

Замеры температуры АЛБ-смеси на выходе из аэросмесителя турбулентного типа (двухлопастных) показали, что происходит подогрев смеси с 16 °С до 30–32 °С, что связано с абразивным действием песка на цемент и «обдиранием» гидратных оболочек. При этом растет рН среды, что способствует активизации вяжущего и более быстрому набору распалубочной прочности АЛБ свежеотформованных изделий.

5. Разработана и внедрена технологическая схема производства стеновых камней из легких аэрированных бетонов (СКАБ) с применением вспученного перлита, вермикулита, хвойных опилок и других пористых заполнителей, подобрано оборудование для производства изделий по агрегатно-поточной технологии, пущены в эксплуатацию три опытных цеха СКАБ производительностью 5,1 тыс. м<sup>3</sup> изделий в год.

Подобрано и спроектировано нестандартное оборудование опытного цеха СКАБ: самоходный скоростной аэросмеситель турбулентного типа с оригинальной системой лопастей, оборудованный автоматическим дозатором воды, пневмозатвором и лотком для подачи АЛБ-смеси на место формовки изделий; специальная металлическая формооснастка, поддоны со съемными рамками. При этом расход металла нами снижен вдвое по сравнению с традиционно используемыми формами с разборными стенками.

6. Разработан технологический регламент работы цеха, включающий контроль качества исходных материалов и технических свойств получаемых изделий, и методика подбора состава АЛБ, а также технические условия на стеновые камни и плиты перегородок из аэрированных легких бетонов с применением пористых заполнителей (ТУ 5741-001-02068580-02).

Цех выпускает камни стеновые следующих характеристик: средняя плотность, кг/м<sup>3</sup>, не более 1200; предел прочности при сжатии, МПа, не менее 3,5;

морозостойкость, циклы, не менее –25; теплопроводность, Вт/м · К, не более 0,35; отклонение от размеров, мм, ±3,0.

7. Анализ литературных данных, опыт работы цехов по производству СКАБ и знакомство с методиками разработки оптимальных решений в технологии легких бетонов позволили нам систематизировать основные производственные факторы, влияющие на технические свойства СКАБ, а также на контролируемость технологических параметров, разработать алгоритм построения оптимальной структуры технологии производства изделий из АЛБ, который может быть использован при компьютерном обеспечении работы цеха.

8. Предварительные расчеты показали, что предложенные нами плиты перегородок с  $\rho_0 = 800 \text{ кг/м}^3$ , выполненные из АЛБ-смесей с использованием хвойных опилок и отходов пенополистирола, могут быть конкурентоспособными в сравнении с аналогами (плиты из автоклавного ячеистого бетона и гипсобе-тона).

## Заключение

Впервые разработаны составы и исследованы свойства ССС с применением гипсоцементно-пуццоланового вяжущего вещества, вспученного вермикулита и перлита, волокнистых минеральных наполнителей, минеральных кремнеземистых добавок (светло-серого, серого, черного микрокремнезема и аморфного кремнезема), обеспечивающих растворам повышенную огнестойкость.

Проведены высокотемпературные испытания образцов растворов ССС в лабораторной печи по режиму, приближенному к режиму печи ВНИИПО, при котором температура достигает 1100 °С в течение 120 мин. Установлено, что добавление микрокремнезема увеличивает прочность образцов на 20–22 % как до огневых испытаний, так и после. Составы на основе перлита, вермикулита и смеси перлита с вермикулитом имеет показатель огнестойкости в 120 мин.

За счет введения микрокремнезема увеличены пределы прочности на сжатие и на изгиб, уменьшено трещинообразование во время нагрева, а также повышена остаточная прочность растворов после высокотемпературных испытаний.

Проведены испытания на горючесть образцов ССС. По результатам испытаний представленные образцы ССС признаны негорючими (НГ), то есть они не воспламеняются, не образуют дыма и не выделяют токсичных продуктов.

Высокотемпературные испытания фрагментов гипсовермикулитовых огнезащитных экранов размером 18×20 см и толщиной 20 мм, выполненных на основе разработанных ССС, подтвердили свою огнестойкость.

Разработаны технический регламент и технические условия огнезащитных экранов на силикатном связующем.

Разработаны составы, исследованы технические свойства и осуществлено практическое внедрение аэрированных и поризованных легких растворов со вспученным перлитом и вермикулитом со средней плотностью 900–1300 кг/м<sup>3</sup>, с пределом прочности при сжатии 5,0–15,0 МПа, теплопроводностью 0,3–0,35 Вт/м · К и с коэффициентом теплоусвоения менее  $5 \leq$  Вт/м · К, что соответствует требованиям СНиП 2.03.13 «Поль».

Установлено, что в зависимости от формы зерен и характера пористости вспученных заполнителей меняются свойства растворов. Перлитопесчаные име-

ют предел прочности при сжатии на 25–40 % выше, чем вермикулитовые (при равной средней плотности). В то же время вермикулитовые растворы превосходят перлитовые по пределу прочности при изгибе на 10–25 %.

Растворные смеси на вспученных заполнителях для «теплых» стяжек полов в отличие от керамзитобетонных не требуют выравнивающих мастик, а в сравнении с пенобетонными имеют малые усадочные деформации (менее 0,4 мм/м).

Исследования показали, что на основе вспученного вермикулита и минеральных вяжущих можно получать штукатурные растворы, обладающие одновременно высокими теплоизоляционными, звукопоглощающими, огнезащитными и декоративными свойствами. По техническим свойствам они не уступают, а по отношению к воздействию высоких температур и декоративности превосходят легкие штукатурки на других пористых заполнителях.

Легкие сухие кладочные и теплоизоляционные штукатурные смеси на вспученном перлите после лабораторных исследований прошли натурные теплофизические испытания. Установлено, что фрагменты кладки из поризованных керамических камней и пустотелого облицовочного кирпича на легком кладочном перлитопесчаном растворе с  $\rho_0 = 1200 \text{ кг/м}^3$  имеют термическое сопротивление на 15 % больше, чем на обычном «холодном» цементном растворе.

Испытания фрагментов кладки из керамического камня и облицовочного кирпича на легком перлитовом растворе и с дополнительным оштукатуриванием теплоизоляционным раствором из ССС (толщиной 50 мм) показали увеличение термического сопротивления ограждения на  $0,4 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ . При этом исключаются так называемые «мостики холода».

Впервые предложены и исследованы составы аэрированных легких бетонов с использованием высокопористых заполнителей (вспученного вермикулита и перлита, а также хвойных опилок и отходов ППС) с  $\rho_0 = 800\text{--}1200 \text{ кг/м}^3$ ,  $B\text{--}3,5\text{--}10$ ,  $\lambda = 0,2\text{--}0,28 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$  для получения стеновых камней и плит перегородок, на их основе разработана заводская технология производства.

Установлено, что за счет скоростного перемешивания в аэросмесителе ( $V = 740 \text{ об/мин}$ ) по сравнению с приготовлением АЛБ-смеси в традиционных смесителях растет рН среды, температура смеси (за счет абразивного действия природного песка на зерна вяжущего) ускоряет процесс набора пластической прочности твердеющих изделий из АЛБ. Коэффициент конструктивного качества АЛБ в 1,5–1,8 раза выше, чем у пенобетона и поризованных легких бетонов на пористых заполнителях.

Изучено влияние ряда технологических факторов (введение ускорителей схватывания и твердения, затворение горячей водой, повышение температуры АЛБ-смеси за счет абразивного действия песка) на кинетику изменения пласти-

ческой прочности, достаточной для быстрого удаления бортовой оснастки (через 30–45 мин с момента формования).

Разработки авторов, доведенные до стадии практического внедрения: технология получения вспученного вермикулита (внедрена на ЗЖБИ треста «Алданстрой» и на промбазе ППО «Актюбнефтегазстрой»), вермикулитовые засыпки, огнезащитные краски и растворы, напыляемая огнезащитная изоляция, теплозащитные покрытия теплообменников и теплоизоляционные изделия (плиты и скорлупы) на основе вермикулита. Указанные разработки внедрены в СКБ «Турбина», ЦНИИМ, на Слюдяной фабрике, г. Колпино; АЛР для «теплых» стяжек основания полов внедрены на объектах строительства треста «Ленотделстрой», треста «Ижорстрой» Главзапстроя и др.

Легкие сухие строительные смеси на перлите по рецептуре автора выпускаются в промышленных объемах ООО «Петроперлит» и ЗАО «Магаданперлит» для нужд строителей Санкт-Петербурга, Москвы, Магадана и других городов.

Опыт работы экспериментальных цехов по производству СКАБ: ООО «Тектон», ООО «СКАБ», ЗАО «Стройсервис», ЗАО «Новая технология», Санкт-Петербург, Темирбетон (Атюбинск).

## Библиографический список

1. А. с. 802230 «Строительный раствор» / А. П. Пожнин, Ю. М. Тихонов, Б. З. Чистяков и др. / Б. и. 5. 1981.
2. А. с. 876586 «Способ приготовления строительного раствора» / П. И. Боженков, Ю. М. Тихонов, И. У. Аубакирова, В. Ч. Куршев / Б. и. 40. 1981.
3. А. с. 1668583 «Теплоизоляционный мат» / Ю. М. Тихонов / Б. и. 29. 1991.
4. А. с. 4939644 «Сырьевая смесь для изготовления легкого бетона» / В. В. Архипов, А. С. Макбузов, Н. С. Никонова и др. / П. и. 1992.
5. *Актерский Ю. Е.* Снижение пожарной опасности строительных конструкций на основе использования огнезащитных средств с новой композицией вспучивающихся минералов / Ю. Е. Актерский, Ю. М. Тихонов, Э. А. Джафаров // Журнал ВАК «Проблемы управления рисками в техносфере». – 2018. – № 48.
6. *Акопян Г. Г., Израелян В. Р.* К изучению пористой структуры кислых водосодержащих вулканических стекол // Строительные материалы, детали, изделия. Вып. 6. – Киев, 1966. – С. 22–27.
7. *Акчабаев А. А.* Основы прогрессивной технологии прессуемого арболита: автореферат докторской диссертации. – СПб.: СПбГАСУ, 1992. – 41 с.
8. *Архипов В. В., Макбузов А. С.* Легкие аэрированные бетоны на основе вермикулита. Строительство трубопроводов. – М.: Наука, 1991. – С. 26.
9. *Аубакирова И. У.* Аэрированные растворы с высокопористыми заполнителями для полов и специальной теплоизоляции: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Л.: ЛИСИ, 1989. – 22 с.
10. *Аубакирова И. У., Макбузов А. С., Тихонов Ю. М.* Формирование поровой структуры аэрированных бетонов // Труды Всесоюзной конференции «Физико-химические проблемы материаловедения и новые технологии». – Белгород, 1991. – С. 10–12.
11. *Аубакирова И. У., Платонова Н. М., Тихонов Ю. М.* Стеновые камни из аэрированного легкого бетона с использованием бумажного наполнителя // Жилищное строительство. – М., 1996. – № 8.
12. *Ахназарова С. Л., Кафаров В. В.* Методы оптимизации эксперимента в химической технологии. – М.: Высшая школа, 1985. – 327 с.
13. *Ахтямов Р. Я.* Применение вспученного вермикулита в технологии производства специальных видов сухих строительных смесей // Строительные материалы. – 2001. – № 4.
14. *Бадьин Г. М., Заренков В. А., Иноземцев В. К.* Справочник строителя-ремонтника. – М.: АСВ, 2000. – С. 218–226.
15. *Баженов Ю. М., Шубенкин П. Ф., Дворкин Л. И.* Применение промышленных отходов в производстве строительных материалов. – М.: Стройиздат, 1986. – С. 39–41.
16. *Волженский А. В.* Гипсоцементнопуццолановые вяжущие, бетоны и изделия / А. В. Волженский, В. И. Стамбулко, А. В. Ферронская. – М.: Стройиздат. – 1971. – 316 с.
17. *Боженков П. И., Крашенинников А. И.* Автоклавный пенобетон. – Л.: Стройиздат, 1960. – 123 с.
18. *Боженков П. И.* Комплексное использование минерального сырья и экология: учеб. пособие / П. И. Боженков. – М.: Изд-во ассоц. строит. вузов, 1994. – С. 165–170.

19. *Бринзевич Б. В.* Разработка технологической документации изготовления огнезащитных экранов на силикатном связующем: магистерская диссертация. – СПб.: СПбГАСУ, 2018. – 127 с.
20. *Брюшков А. А.* Газопенобетон / П. И. Брюшков. – М.: Стройиздат, 1971.
21. *Бужевич Г. А., Довжик В. Г.* Поризованный керамзитбетон. – М.: Стройиздат, 1969. – 225 с.
22. *Булкина Г. Х.* Экономическая эффективность производства и применения вспученного перлита в строительстве. – М.: Стройиздат, 1987. – 96 с.
23. *Бурлаков Г. С.* Технология изделий из легкого бетона. – М.: Высшая школа, 1986. – 296 с.
24. *Гиндоян А. Г.* Теплотехнические основы проектирования полов из полимерных материалов / А. Г. Гиндоян. – М.: Стройиздат, 1969. – 136 с.
25. *Головина С. Г., Тихонов Ю. М., Шараненко А. Ф.* Инновационные строительные материалы и архитектурно-строительные системы зданий: учебник. – СПб.: СПбГАСУ, 2020. – 338 с.
26. *Головина С. Г.* К вопросу исследования совместной работы строительных материалов в наружных ограждающих конструкциях в бывших доходных домах исторического центра / С. Г. Головина, Ю. В. Сокол // Вестник гражданских инженеров. – 2018. – № 3 (68). – С. 112–117.
27. *Головина С. Г.* История развития конструкций зданий жилой исторической застройки на примере Санкт-Петербурга: учеб. пособие / С. Г. Головина, С. В. Семенов. – СПб.: СПбГАСУ, 2012. – 39 с.
28. *Горлов Ю. П.* Лабораторный практикум по технологии теплоизоляционных материалов. – М.: Высшая школа, 1982. – С. 181–183.
29. *Горчаков Г. И., Баженов Ю. М.* Строительные материалы. – М.: Стройиздат, 1986. – С. 181–183.
30. *Горяйнов К. Э. и др.* Технология минеральных теплоизоляционных материалов и легких бетонов. – М.: Стройиздат, 1961. – 426 с.
31. *Гузучкина М. Ю.* Огнетеплозащитные сухие строительные смеси и изделия на гипсовом вяжущем: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – СПб., 2013. – 21 с.
32. *Добавки в бетон: справочное пособие / сост. В. С. Рамачандран, Р. Ф. Фельдман и др.* – М.: Стройиздат, 1988.
33. *Древесина. Показатели физико-механических свойств // Руководящие технические материалы; Комитет стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР.* – М., 1962. – 42 с.
34. *Дубенецкий К. Н., Пожнин А. П., Тихонов Ю. М.* Вермикулитовые строительные растворы // Исследование и применение вермикулита. – Л.: Наука, 1970. – С. 186–190.
35. *Дубенецкий К. Н., Пожнин А. П.* Вермикулит (свойства, технология и применение в строительстве). – Л.: Издательство литературы по строительству, 1971. – 176 с.
36. *Жуков А. В.* Опыт производства вспученного перлита и вермикулита в Канаде // Строительные материалы, детали и изделия. – Киев, 1965. – Вып. 5.
37. *Журавлев В. Ф., Тихонов В. А.* Физико-химическая сущность действия пластифицирующих и воздуходуерживающих добавок. – М.: АН СССР – 1952. – № 12. – Т. 26.

38. Забурунов В. А., Стоянов В. В., Хрулев В. М. Строительные материалы из отходов переработки древесины и сельскохозяйственных растений и перспективы их использования. – Кишинев: МолдНТИ, 1990.
39. Зажигаев Л. С., Кишьян А. Л., Романинов Ю. М. Планирование и обработка результатов физического эксперимента. – М.: Стройиздат, 1978. – 232 с.
40. Закс Л. Статистическое оценивание. – М.: Статистика, 1976. – 356 с.
41. Зубарев М. С. Исследование огнезащитных водостойких ССС на гипсоцементно-пуццолановом вяжущем: магистерская диссертация. – СПб., 2017.
42. Ибрагимов Ж. А. Производство мелкоштучных стеновых блоков для индивидуального строительства. – М.: Стройиздат, 1994. – 25–36 с.
43. Иванов И. А. Технология легких бетонов на пористых заполнителях. – М.: Стройиздат, 1974. – 276 с.
44. Иванов И. А. Легкие бетоны с применением зол электростанций. – М.: Стройиздат, 1986. – 151 с.
45. Исраэлян В. Р. Физико-химические процессы, протекающие в твердеющем легком бетоне, и их влияние на долговечность строительных конструкций: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Ереван: ЕПИ, 1995. – 44 с.
46. Кальянов М. Н., Мерзляк А. Н. Вермикулит и перлит – пористые заполнители для теплоизоляционных материалов. – М.: Стройиздат, 1961. – 153 с.
47. КНАУФ – КАТАЛОГ 03.2013 // КНАУФ. – URL: <http://www.knauf.ru/catalog>
48. Каталог продукции КНАУФ: CD-ROM. – Красногорск, 2010. – 133 с.
49. Каранузов Е. К., Лутц Г., Герольд Х. и др. Сухие строительные смеси. – Киев: Техника, 2000. – 226 с.
50. Кинд В. А., Окорочков С. Д. Строительные материалы, их получение и применение. – М.; Л.: Госстройиздат, 1934. – С. 381.
51. Коротяев Э. И., Клименко М. И. Производство строительных материалов из древесных отходов. – М.: Лесная промышленность, 1972. – 210 с.
52. Киселев Д. П., Кудрявцев А. А. Поризованные легкие бетоны. – М.: Издательство литературы по строительству, 1966. – 85 с.
53. Козлов В. В. Сухие строительные смеси. – М.: АВС, 2000. – 96 с.
54. Колесникова И. В. Новые эффективные пенообразователи для изготовления пенобетонов // Резервы производства строительных материалов. Ч. 2. – Барнаул, 1997. – С. 75.
55. Коломиец И. В. Сравнительный анализ строительных свойств аэрированных и ячеистых легких бетонов // Труды молодых ученых. – СПб.: СПбГАСУ, 2000. – Ч. I.
56. Коломиец И. В., Тихонов Ю. М. Применение аэрированных легких бетонов в производстве стеновых камней, плит перегородок и «теплых» стяжек полов // Доклады 57-й научной конференции. – СПб.: СПбГАСУ, 2000. – С. 123–124.
57. Коломиец И. В., Платонова Н. М., Тихонов Ю. М. Концепция формирования поровой структуры аэрированных легких бетонов с использованием пористых заполнителей // Юбилейный сборник трудов к 100-летию кафедры строительных материалов. – СПб.: СПбГАСУ, 2000. – С. 63–70.
58. Композиция для изготовления облепченных архитектурных деталей: пат. № 2618819 С1, РФ / А. М. Харитонов, Н. Н. Шангина, С. Г. Тучинский, А. А. Рябова; заявитель и патентообладатель ООО «Ажио» – № 2016117879; заявл. 05.05.2016.

59. Коломиец И. В., Тихонов Ю. М. Легкие и теплоизоляционные сухие смеси на основе вспученного перлита // Труды молодых ученых. – СПб.: СПбГАСУ, 2003 г. – Ч. 1. – С. 65–68.
60. Коломиец И. В., Тихонов Ю. М. Аэрированные легкие бетоны с использованием пористых местных заполнителей // Межвузовский тематический сборник трудов. Доклады 58-й научной конференции. – СПб.: СПбГАСУ, 2001. – С. 119–120.
61. Комплексные системы КНАУФ: Полы: разраб ОАО ЦНИИпромзданий при участии КНАУФ. – URL: <http://files/stroynt.ru/data47/47279>
62. Корнеев В. И., Зозуля П. В. Словарь «„Что есть что“ в сухих строительных смесях». – СПб.: НЛ «Союз производителей сухих строительных смесей», 2004. – 312 с.
63. Кудяков А. И., Радина Т. Н., Иванов М. Ю. Зернистый теплоизоляционный материал на основе модифицированного жидкого стекла из микрокремнезема // Строительные материалы. – 2005. – № 1.
64. Крашенинников А. Н. Автоклавный термоизоляционный пенобетон. – М.: Стройиздат, 1969. – 210 с.
65. Макбузов А. С. Легкие аэрированные бетоны на основе вермикулита // Тезисы докладов II Региональной научной конференции молодых ученых. – Актюбинск, 1991. – 34 с.
66. Макбузов А. С., Тихонов Ю. М., Коломиец И. В. Производство вермикулита Каратас-Алтынтасского месторождения (Западный Казахстан) в легких бетонах // Сборник докладов 65-й научной конференции. – СПб.: СПбГАСУ, 2008. – С. 136–140.
67. Максимов С. В. Теория и практика получения легких стеновых материалов по эффективным технологиям: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – СПб., 1996. – 36 с.
68. Малышев В. Ф. Аубакирова И. У. Методы исследования строительных материалов. – СПб.: СПбГАСУ, 1998. – 12 с.
69. Мартыненко В. С., Еременко В. А., Близнюк Н. В. Теплоизоляционный неавтоклавный пенобетон. – М.: ВНИИЭСМ., 1990.
70. Меркин А. П. Новое поколение поризованных бетонов для монолитного домостроения // Труды всесоюзной конференции физико-химических проблем материаловедения и новых технологий. Ч. 10. – Белгород, 1991. – С. 15–16.
71. Методический подход к пожаротушению и защите пористых горючих материалов на транспорте / А. А. Таранцев, А. Л. Шедловский, К. Н. Марасанова // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2018. – № 46.
72. Мещеряков Ю. Г. Гипсовые вяжущие и строительные материалы на их основе: учеб. пособие / Ю. Г. Мещеряков. – СПб.: СПбГАСУ, 2007 – 65 с.
73. Мещеряков Ю. Г., Иванов О. И., Федоров С. В. Производство гипсовых вяжущих веществ и строительных изделий на основе из фосфогипса ВАЗ // Юбилейный сборник трудов к 100-летию кафедры «Строительные материалы». – СПб.: СПбГАСУ, 2000. – 125 с.
74. Нанашвили И. Х. Арболит – эффективный строительный материал. – М.: Стройиздат, 1984. – 125 с.
75. Пат. № 2288904 изобретения «Аэрированный легкий бетон» / Ю. М. Тихонов, Ю. В. Коломиец, 2005.
76. Панарин С. Н., Веселова С. И. Перспективный жесткий утеплитель – полистирол-бетон. – СПб.: СПбГАСУ, 2002.

77. *Панов А. А., Зенина Л. Н.* Способ приготовления технической пены для получения бетонной смеси // *Строительные материалы на основе местного сырья и вторичных продуктов. Сборник научных трудов.* – Челябинск: УралНИИСтромпроект, 1990. – С. 33–38.
78. Пат. 2.070.874 на изобретение «Способ приготовления смеси для аэрированного легкого бетона и аэросмеситель турбулентного действия» / Ю. М. Тихонов, 1996.
79. Бетоны для транспортного строительства на основе бесцементных вяжущих: автореферат докторской диссертации. – СПб.: ПГУПС, 1997. – 42 с.
80. *Пищук М. А., Базаров А. Р.* Механизированное приготовление и укладка аэрированных растворов и бетонов // *Бетон и газобетон.* – 1960. – № 3.
81. *Плаченов Г. Г., Колосенцев С. Д.* Порометрия. – Л.: Химия, 1988. – 176 с.
82. *Пожнин А. П.* Вермикулит: роль воды во вспучивании, технология обжига, свойства и применение в производстве строительных материалов, изделий и конструкций: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Л.: ЛИСИ, 1980. – 48 с.
83. *Пожнин А. П., Тихонов Ю. М.* Полы с применением вермикулита // *Жилищное строительство.* – 1974. – № 6. – С. 13–14.
84. *Пожнин А. П., Тихонов Ю. М.* Исследования в области теплоизоляционных материалов и легких бетонов // *Юбилейный сборник трудов к 100-летию кафедры «Строительные материалы».* – СПб.: СПбГАСУ, 2000. – С. 30–38.
85. *Пожнин А. П., Тихонов Ю. М.* Концепция формирования поровой структуры аэрированных легких бетонов // *Труды конференции «Реконструкция СПб – 2000».* – СПб., 1994.
86. *Поплавская Я. М., Эвант П. В., Селезский А. И., Кучихин С. Н.* Предпосылки дальнейшего развития производства и применения ячеистого бетона в современных условиях // *Строительные материалы.* – 1996. – № 3.
87. *Попов Н. А.* Легкие бетоны на пористых заполнителях. – М.: Стройиздат, 1957. – 205 с.
88. *Пухаренко Ю. В.* Технология теплоизоляционных ячеистых бетонов, армированных синтетическими волокнами: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Л.: ЛИСИ, 1986. – 23 с.
89. *Пухаренко Ю. В.* Влияние степени распушки синтетических волокон на свойства ячеистых фибробетонов: дис. ... д-ра техн. наук. – СПб.: СПбГАСУ, 2005. – 315 с.
90. *Пухаренко Ю. В.* Проектирование технологии изготовления железобетонных изделий и конструкций на предприятиях строительной индустрии / Ю. В. Пухаренко, М. П. Воронцов. – СПб.: СПбГАСУ, 2016. – 136 с.
91. *Рибиндер П. А. и др.* Физико-химические основы производства пенобетонов // *Известия АН СССР, ОТН № 4.* – 1937.
92. *Рейнолдс А. Д.* Турбулентные течения в инженерных приложениях. – М.: Энергия, 1975. – 401 с.
93. Рекомендации RILEM, LCT. – М., 1975.
94. Российский каталог-справочник: Сухие строительные смеси / под общ. ред. Э. Л. Большакова. – СПб.: ЭЛБИ, 2003. – 128 с.
95. Российский рынок сухих строительных смесей: справочник / Е. В. Беляев. – СПб.: Союз производителей сухих строительных смесей, 2020. – С. 192–194.
96. Руководство по устройству полов с применением «теплых» аэрированных растворов с механизированной подачей к месту укладки. – Л.: Главзапстрой, 1976. – 21 с.
97. Руководство по проектированию и изготовлению изделий из арболита. – М.: Стройиздат, 1974. – 68 с.

98. Руководство по устройству полов с применением «теплых» перлитопесчаных растворов. – Нальчик: Минжилгражданстрой, 1980. – 18 с.
99. Рыбьев И. А., Акчабаев А. А. Определение пригодности заполнителя для арболита // Реф. ВНИИЭСМ. – 1990. – Серия 15. – Вып. 6. – С. 32–34.
100. Саакян В. О. Подбор состава легкого бетона на вулканических шлаках / Труды Института камня и силикатов АН СССР. Вып. 4. – М.: Стройиздат, 1968.
101. Саталкин А. В., Соколовский В. Т. Применение аэрированных растворов на строительстве метрополитена // Метрострой. – 1965. – № 7.
102. Саталкин А. В., Кубланова М. Б. Изменение основных свойств цементного раствора и бетона под действием добавок поверхностно-активных веществ // ДАН СССР. – 1950. – Т. 72. – № 3.
103. Сергеев А. М. Подбор состава мелкозернистого аэрированного бетона на основе пылевидной сланцевой золы // Сборник трудов ВНИИСтрой. – 1971. – № 20 (48). – С. 35–39.
104. Сергеев А. М., Комохов В. Н. Исследование технологии мелкозернистых аэрированных бетонов // Строительные материалы, детали и изделия. – Л.: ЛИИШТ, 1970. – С. 37–43.
105. Сергеев Ю. С. Пути использования низкосортной древесины и ее отходов по Ленинградской области // Использование отходов промышленности в строительстве. – Л.: ЛДНТП, 1973. – С. 74–75.
106. Симонов М. В. Основы технологии легких бетонов. – М.: Стройиздат, 1973. – 583 с.
107. Романенков И. Г., Левитес Ф. А. Огнезащита строительных конструкций. – М.: Стройиздат, 1991. – 320 с.
108. СН 82-101-98 «Приготовление и применение строительных растворов». – М.: Госстрой РФ, 1999. – С. 2–4.
109. СНиП II. 3-79 «Строительная теплотехника».
110. СНиП II-В.8-71 «Полы. Нормы проектирования».
111. Соколовский В. Т. Аэрированные цементно-песчаные растворы и их применение в строительстве. – Л.: Стройиздат, 1972. – 70 с.
112. Солнцева В. А., Федоров В. Б. Быстротсхватывающиеся аэрированные растворы // Новые исследования цементных и силикатных бетонов. Сборник статей. № 333. – Л.: ЛИСИ. – 197 с.
113. Стольников Б. В. Воздухововлекающие добавки в гидротехническом бетоне. – М.: Госэнергоиздат, 1953. – 123 с.
114. СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий актуализированная», редакция СНиП 2302-203, введ. 2013-07-01. – М., 2012.
115. Тихомиров В. К. Пены. Теория и практика их получения и разрушения. – М.: Химия, 1983. – 283 с.
116. Тихонов Ю. М. Исследование вермикулита и растворов на его основе с целью применения их в конструкциях стен и полов зданий: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Л.: ЛИСИ, 1972. – 22 с.
117. Тихонов Ю. М. Применение эффективных «теплых» растворов с пористыми заполнителями в полах гражданских зданий: дис. ... д-ра техн. наук. – Л.: ЛДНТП, 1990. – 280 с.
118. Тихонов Ю. М. Аэрированные легкие бетоны для стеновых ограждений и «теплых» стяжек полов // Труды международной конференции «Строительство в СПб». – СПб.: Департамент строительства, 1995.

119. *Тихонов Ю. М.* Аэрированные растворы с применением золы-уноса и вспученного вермикулита // Строительные материалы из попутных продуктов промышленности. Сборник статей. – Л.: ЛИСИ, 1978. – С. 127–130.
120. *Тихонов Ю. М.* Применение аэрированных «теплых» растворов с пористыми заполнителями в полах гражданских зданий. – Л.: ЛДНТП, 1990. – 27 с.
121. *Тихонов Ю. М., Аубакирова И. У., Макбузов А. С.* Формирование поровой структуры аэрированных легких бетонов // Теоретические проблемы строительного материаловедения и эффективные стеновые материалы. Всесоюзная конференция. – Белгород, 1991. – С. 25–77.
122. *Тихонов Ю. М. и др.* Современные строительные товары: справочник. – СПб.: Росстройкомплект, 1998. – 435 с.
123. *Тихонов Ю. М.* Современные строительные материалы и архитектурно-строительные системы зданий. Часть I. Современные строительные материалы для частей зданий: учеб. пособие / Ю. М. Тихонов, С. Г. Головина, А. Ф. Шарапенко. – СПб.: СПбГАСУ, ЭБС АСВ, 2016. – 155 с.
124. *Тихонов Ю. М., Аубакирова И. У.* Перлитопесчаные растворы с золой ТЭЦ для устройства оснований полов // Строительные материалы из попутных продуктов промышленности. Сборник статей. – Л.: ЛИСИ, 1980.
125. *Тихонов Ю. М., Аубакирова И. У.* Способ приготовления бетонов на легких заполнителях // Жилищное строительство. – 1982. – № 3.
126. *Тихонов Ю. М., Коломиец В. И., Городецкий М. С.* Разработка рецептуры легких сухих растворных смесей (ЛРС) на основе вспученного перлита и вермикулита // Сборник тезисов II Международной конференции Vatimix «Сухие строительные смеси для XXI в.: технологии и бизнес». – СПб.: Союз производителей сухих смесей, 2002. – С. 26–28.
127. *Тихонов Ю. М., Коломиец И. В., Бахтин А. А.* Легкие и теплоизоляционные сухие смеси на основе вспученного перлита и примеры их применения // Сборник тезисов III Международной конференции Vatimix «Сухие строительные смеси для XXI в.: технологии и бизнес». – СПб.: Союз производителей сухих смесей, 2003. – С. 23.
128. *Тихонов Ю. М., Томашевич П. Ф.* Пол с «теплой» стяжкой из аэрированного раствора: реф. ин., вып. 8. – СПб.: ВНИИЭСМ, 1978. – 4–7 с.
129. *Тихонов Ю. М.* Архитектурное материаловедение: учебник / Ю. М. Тихонов, Ю. П. Панибратов, Ю. Л. Мещереков и др. – М.: Академия, 2013. – 288 с.
130. Указания по устройству полов с тепло- и звукоизоляцией на основе вспученного вермикулита и с покрытием из пластика. ВСН-137-70. – Л.: Главленинградстрой, 1970. – 14 с.
131. *Федяшина М. А.* Пенобетон с пониженной средней плотностью для тепловой изоляции трубопроводов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – СПб.: СПбГАСУ, 1992. – С. 21.
132. *Чернышева Н. В.* Водостойкие гипсовые композитные материалы с применением технологического сырья: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Белгород, 2014. – 36 с.
133. *Шестоперов С. В. и др.* Влияние поверхностно-активной добавки на процессы взаимодействия цемента с водой. – М.: ДАК СССР. – Т. 2. – № 6, 1950.
134. *Шмыгля Т. А.* Использование отходов промышленности при изготовлении неавтоклавного полимерного бетона с полимерными добавками // Использование отходов промышленности в строительстве. – Л.: ЛДНТП, 1973. – С. 82–83.
135. *Шорт А., Абелс П. В. и др.* Легкие бетоны: проектирование и технология / пер. с англ. – М.: Стройиздат, 1981. – 240 с.

**Иностранная литература**

136. Airlaced vermiculite concrete for insulating and fire-proofing. – Pit and Quarry. Vol. 45, No. 12, 1953. – 163 p.
137. *Bache H.* Strength of structural lightweight aggregate concrete. – RILEM Symposium, 1961.
138. *Hanson J. A.* Optimum steamcuring procedures for structural lightweight concrete. – ACI Journal. June, 1965. – 89 p.
139. *Malinowski R.* Construction of cement, expansion and strength of mortar caused by heat curing. – Detroit: ACI Publication, 1968. – 25 p.
140. *Malinowski R.* Warmbehandlung von deichbeton in Batterier formen. Bauverlag GmbH. Beton werg und Fertyteinite, нефт 12, Weisbaden, 1972.
141. RILEM, Symposium on lightweight concrete. – Budapest, 1969.
142. *Power T.* Perlite and vermiculite. – Industrial minerals (USA), № 230, 1986. – P. 39–49.
143. *Tichonov Ju.* Influence of High-Porous Filling Material Fiber on Thermal and Fire Resistant Properties of Aerated // Composites Applied Mechanics and Materials / Ju. Tichonov, Ju. Pukharenko. – 2015. – Vol. 725–726. – P. 572–577.

# ПРИЛОЖЕНИЯ

## *Приложение 1*

### **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОГНЕЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ НА ГЦПВ И ПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЯХ (ПРОЕКТ)**

#### **1. Общие требования, правила и нормы к выполнению технологического регламента**

Технологический регламент (ТР) – технический документ, который разрабатывается организацией с согласованием с действующими нормативными документами РФ. Документ определяет технологический режим, порядок проведения операций технологического процесса, обеспечивает выпуск продукции необходимого качества и безопасные условия эксплуатации производства.

В зависимости от производства и целей осуществляемых работ бывают:

- постоянные технологические регламенты, которые разрабатываются для освоенных производств, обеспечивающих требуемое качество выпускаемой продукции;
- временные технологические регламенты, которые разрабатываются для новых производств на данном предприятии, действующих производств, в технологию которых занесены принципиальные изменения, а также производств с новой технологией;
- разовые технологические регламенты, которые разрабатываются при производстве товарной продукции на опытных и опытно-промышленных установках, кроме того, для опытных и опытно-промышленных работ, проводящихся на действующих производствах;
- лабораторные технологические регламенты, которые разрабатываются для лабораторных, стендовых и модельных установок, не выпускающих товарную продукцию.

Срок действия технологических регламентов для постоянных технологических регламентов действует до 10 лет. Временный технологический регламент действует в случае установки срока освоения производства меньше года, срок действия ТР устанавливается до одного года. При отсутствии срока освоения норм производства срок ТР определяется лицом, которое утверждает данный технологический регламент. Разовый технологический регламент действует на срок проведения опытных работ. Если выработка опытной продукции производится в течение нескольких лет, срок действия устанавливается не более пяти лет. Лабораторный ТР действует на срок, который указывает лицо, утверждающее ТР.

ТР разрабатываются организацией, эксплуатирующей производство. После разработки технологического регламента в «Листе подписей технологического регламента» проставляют подписи разработчики технологического регламента: главный инженер, начальник производственно-технического отдела организации, начальник производства, начальник цеха, начальник отдела технического контроля. Далее технический регламент производства продукции утверждает руководитель организации, на титульный лист ставится печать. С ТР делается необходимое количество копий. Подлинники и копии сброшюровываются, концы проши-

вочных нитей заклеиваются ярлыком, на котором указываются: количество листов, Ф. И. О. ответственного за прошивку, его подпись и печать организации. Подлинник и копии остаются на хранении в ответственной службе. По необходимости копии передаются под роспись.

В технологический регламент допускается вносить изменения и дополнения. Однако данные изменения не должны нести отрицательного влияния на работоспособность и безопасность технологического процесса.

Технологический регламент содержит в себе 10 пунктов:

- назначение технологического регламента;
- характеристику изделий;
- характеристику исходных материалов и подбор состава;
- технологическую схему производства;
- расчет мощности цеха и потребности в сырье и материалах;
- технологический процесс производства;
- контроль производства;
- охрану окружающей среды;
- требования безопасности труда;
- выводы.

## **2. Назначение технологического регламента и общая характеристика производства**

Регламент устанавливает технологические параметры производства огнезащитных экранов на основе сухих огнезащитных строительных смесей, вермикулита и перлита и требования к ним. Огнезащитные экраны формируются из пластичной смеси и твердеют на складе готовой продукции.

## **3. Характеристика изделий**

Огнезащитные экраны представляют собой прямоугольный материал, который производится на основе сухих огнезащитных строительных смесей на основе ГЦПВ с армирующими добавками, боковые кромки зафальцовываются краями.

Огнезащитные экраны имеют форму следующих размеров:

- длина от 2000 до 4000 мм;
- ширина 600, 1200 мм;
- толщина 12,5, 14, 16 мм.

Огнезащитные экраны должны удовлетворять основным техническим требованиям согласно разработанному ТУ (см. главу 4). Основные показатели аэрированных бетонов должны соответствовать нормам, указанным в табл. П1.1.

Подбор и корректировка состава огнезащитных экранов на силикатном связующем должны производиться аттестованной и аккредитованной лабораторией.

Подобранный состав при принятом технологическом режиме должен обеспечить получение огнезащитных экранов на силикатном связующем с заданными проектными показателями при минимальном расходе цемента.

**Технические характеристики экранов**

Наименование показателя	Характеристика	ГОСТ для определения показателя
Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Не более 1250 кг/м <sup>3</sup>	ГОСТ 12730.1–78
Предел прочности при сжатии, МПа	5,0	ГОСТ 8462–85
Предел прочности при изгибе, МПа	2,4	ГОСТ 10180–78 (с изменениями)
Теплопроводность, Вт/м · К	0,29–0,35	ГОСТ 30256–94
Отпускная влажность, % по массе, не более	12	ГОСТ 12730.2–78
Морозостойкость, циклы, не менее	25	ГОСТ 10060–87
Водопоглощение, % по массе	10–20	ГОСТ 12730.3–78
Горючесть	Группа НГ	ГОСТ 30244–94
Подвижность смеси, О. К., см	8–10	ГОСТ 28013–78

**4. Характеристики исходных материалов и подбор состава огнезащитных экранов на силикатном связующем**

- Ускорители твердения, антисептики, антипирены: хлористый кальций по ГОСТ 450–77, жидкое стекло по ГОСТ 13078–81, кремнефтористый натрий по ТУ 6-09-462-89715-2000.
- Высокопрочное гипсовое вяжущее Г-13 ГОСТ 125–79 «Гипсовые вяжущие».
- Портландцемент должен быть марок 500 и 400 и соответствовать требованиям ГОСТ 10178–85 «Портландцемент и шлакопортландцемент».
- Вспученный перлит фракций не более 5 мм, отвечающий требованиям ГОСТ 10832–91 «Песок и щебень перлитовые вспученные» марок 100–150.
- Вспученный вермикулит фракций не более 5 мм, отвечающий требованиям ГОСТ 12865–67 «Вермикулит вспученный» марок 100–150.
- Кремнеземистые добавки должны соответствовать требованиям ГОСТ 24748–81 «Изделия известково-кремнеземистые теплоизоляционные».
- Воздухововлекающая добавка должна быть гидрофобизирующей и способствовать образованию в смеси устойчивой эмульсии воздуха. Могут использоваться различные поверхностно-активные вещества: сульфонол ГОСТ 24411–91, ОП-10 ГОСТ 8415–81 и другие, образующие на поверхности частиц цемента нерастворимые в воде мыла.
- Вода для затворения аэрированных бетонных смесей должна удовлетворять требованиям ГОСТ 23732–79.

Подбор состава огнезащитных экранов состоит в установлении рационального соотношения между его компонентами и конкретным расходом материалов с учетом их влажности. АЛБ – конструктивные средства противопожарной защиты, используемые в качестве

противопожарных барьеров, разделительных конструктивных элементов, препятствующих распространению огня или тепла или продуктов сгорания при пожаре в определенных условиях и в течение нормируемого времени. Особенность подбора состава заключается в том, что экраны должны иметь состав, отвечающий заданным параметрам.

Методика расчета разработанного нами состава АЛБ представлена в главе 2.

После произведенных расчетов приступают к заводскому изготовлению огнезащитных экранов с учетом влажности заполнителя. Одновременно готовятся контрольные образцы 1100×600 мм, толщиной 20 мм. Если пробные замесы дают показатели, отличные от заданной прочности и плотности, то делаются дополнительные замесы с измененным соотношением компонентов.

Рабочий состав огнезащитных экранов должен корректироваться при изменении характеристик, вида и поставщиков сухих строительных смесей, добавок и при изменении технологических режимов.

## **5. Технологическая схема производства огнезащитных экранов**

Производство огнезащитных экранов разработанного состава по технологической схеме приближено к производству гипскартонных и гипсоволокнистых листов [60]. В данном случае вместо картона для усиления экранов применяется нетканый стеклохолст. Сердечник экрана представляет собой смесь гипсоцементно-пущофанового вяжущего, вспученного вермикулита и перлита и минеральных добавок, армированных стекловолокном или асбестом. Такой огнезащитный экран может защищать от огня металлические, фибробетонные, армоцементные и деревянные конструкции.

Принципиальная технологическая схема производства огнезащитных экранов приведена на рис. П1.1.

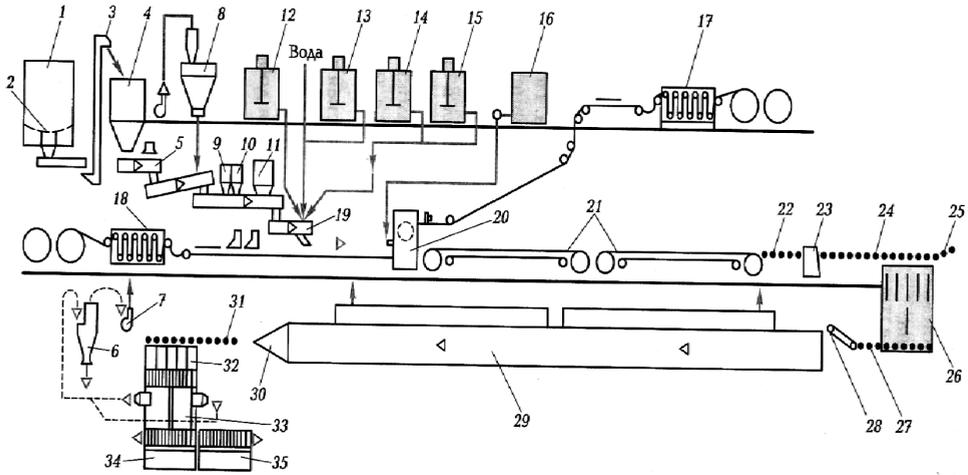


Рис. П1.1. Технологическая схема производства огнезащитных экранов:  
 1 – силос; 2 – донный разгрузатель; 3 – элеватор; 4 – промежуточный бункер;  
 5 – весовой дозатор гипсового вяжущего; 6, 7 – система пылеосаждения;  
 8 – бункер, 9, 10 – дозатор; 11 – стеклорубочная машина; 12 – пеногенератор;  
 13 – емкость для добавок; 14 – емкость для вспученного вермикулита;  
 15 – емкость для вспученного перлита; 16 – емкость для минеральных добавок;  
 17, 18 – размотыватель; 19 – смеситель; 20 – формовочный стол; 21 – конвейеры  
 схватывания; 22, 24 – роляганг; 23 – экран; 25 – конвейер сброса влажных отходов;  
 26 – поперечный стол; 27 – ленточный транспортер; 28 – загрузочный мост;  
 29 – многорусное сушило; 30 – вытяжной механизм; 31 – ускоряющий конвейер;  
 32 – поперечный стол; 33 – станок для торцовки; 34 – штабелировщик;  
 35 – пост упаковки

## 6. Расчет мощности цеха огнезащитных экранов на силикатном связующем

Мощность цеха определена исходя из производства СКАБ в объеме  $10 \text{ м}^3$  в смену. Годовой фонд рабочего времени (по нормам технологического проектирования) – 255 суток.

Годовая мощность цеха при двухсменной работе:  $20 \cdot 255 = 5100 \text{ м}^3$ .

С учетом потерь материалов при заливке, распалубке, складировании фактическая годовая мощность цеха составит  $5100 \cdot 1,1 = 5610 \text{ м}^3$ .

Реальная суточная производительность цеха –  $5610 : 255 = 22 \text{ м}^3$ , или  $22 \cdot 63 = 1386$  экранов размером  $2500 \times 1200 \times 12,5 \text{ мм}$ .

Суточная потребность в сырье и материалах отражена в табл. П1.2.

## Суточная потребность в сырье и материалах

Наименование		Ед. изм.	Расход, кг/т	Цена за ед., руб.	Сумма, руб.
Материалы					
ГЦПВ	Высокопрочное гипсовое вяжущее Г13-АШ	кг	420	9,7	4074
	Портландцемент СЕМ I 42,5	кг	210	7,5	1575
	Микрокремнезем	кг	210	16	3360
Перлит вспученный		кг	129,7	29	3761
Стекловолокно		кг	25	150	3750
Esaron 1214		кг	0,5	230	115
Мешки		шт.	40	20	800
Итого					17 435
Энергоресурсы					
Электроэнергия на технологические цели		руб.			60
Вода на технологические цели		руб.			2
Газ на технологические цели		руб.			50
Заработная плата основных производственных рабочих		руб.			250
Страховые взносы		руб.			75
Сумма прямых затрат		руб.			17 872
Маржинальный доход		руб.			1780
Общепроизводственные затраты		руб.			543
Производственная себестоимость		руб.			19 758
Общехозяйственные затраты		руб.			62
Полная себестоимость		руб.			19 820
Оптовая цена (рентабельность 7 %)		руб.			21 208
Отпускная цена с НДС – 18%		руб.			25 025

Производственная себестоимость ССС составила 19 758 руб./т. Отпускная цена с учетом рентабельности 7 % и НДС 18 % составила 25 025 руб./т.

## 7. Технологический процесс производства огнезащитных экранов

Для производства огнезащитных экранов необходимы специализированные станки. В совокупности все оборудование образует непрерывный цикл изготовления продукции. Закупать их лучше у проверенных производителей, чтобы избежать неблагоприятных результатов в технологическом процессе.

Технологическая цепочка производства ССС включает следующие этапы:

- подготовку исходных компонентов;
- просеивание и складирование в расходных бункерах;
- дозировку компонентов;
- перемешивание компонентов, затаривание в мешки и складирование.

Изготовление гипскартона невозможно без специальных компонентов. В качестве сырья используют сухие строительные смеси, вспученные заполнители, минеральные добавки, армированные стекловолокном или асбестом.

Подготовительное отделение состоит из склада инертных материалов, транспортных средств и бункеров с разгрузочными устройствами. Бункеры исходных материалов заполняются при помощи пневмотранспорта. Заполнение бункеров добавок осуществляется вручную. Смесительный модуль включает линии дозирования и перемешивания компонентов в следующем порядке: гипсоцементно-пуццолановое вяжущее, вспученные заполнители, волокнистый наполнитель, добавки (замедлитель, адгезионная, водоудерживающая). После перемешивания ССС с помощью винтового конвейера подается на упаковку.

Оборудование для производства экранов:

- станок для изготовления сухих строительных смесей;
- формователь, который используется для соединения экранов и придания формы составу на основе гипсоцементно-пуццоланового вяжущего;
- специальный аппарат для непрерывной подачи экранов к формователю;
- ленточный конвейер, предназначенный для формирования параметров производимого изделия;
- рольганговый конвейер – гильотина, которая разрезает полотно;
- транспортировочный конвейер, используемый для подачи листов на консольный и рольганговый конвейеры;
- консольный конвейер, предназначенный для размещения листов ГК на сушилке.

ГЦПВ загружается в силос, из которого с помощью элеватора в промежуточный бункер весового дозатора загружается гипсоцементно-пуццолановое вяжущее. Далее по системе шнеков поступает в смеситель. В него также при помощи дозаторов подаются минеральные и модифицирующие добавки.

Через разматыватели проходят рулоны стеклохолста. Формовочная масса из смесителя поступает на формовочный стол, уже после которого отправляется на конвейеры схватывания. Мягкая лента подравнивается кромкообразующими устройствами. С конвейера лента поступает на рольганг, которым она транспортируется к ножницам, отрезающим экраны заданной длины. Ленточным транспортером плиты поступают в многоярусные сушилка, после чего

попадают на станок торцовки для точного обрезания. Экраны подаются на штабелировщик, откуда поступают на пост упаковки. На рис. П1.2 представлена схема технологического процесса изготовления экранов.

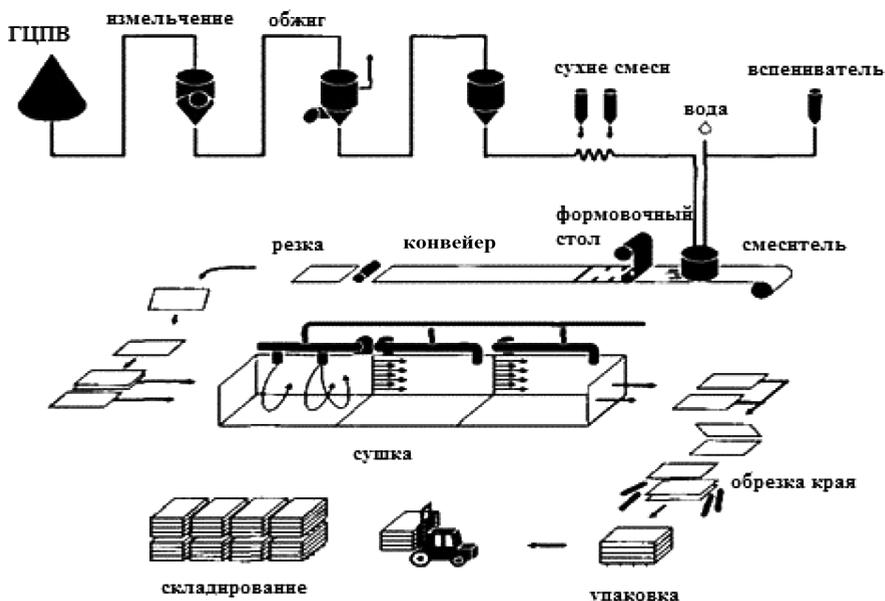


Рис. П1.2. Схема технологического процесса изготовления огнезащитных экранов

Производство экранов требует определенных характеристик цеха. В помещении не должно быть повышенной влажности воздуха. Воздействие влажности может негативно сказаться на качестве продукции. Для того чтобы избежать повышенной влажности, в производственном цеху оборудуют дополнительные типы вентиляции.

Минимальное изменение температурного режима может привести к появлению излишней влаги или сухого воздуха. Для того чтобы этого избежать, необходимо постоянно поддерживать один температурный режим. Сухой воздух также может нарушить технические свойства готового изделия.

Цех для производства огнезащитных экранов должен располагать большими размерами. Там можно установить необходимое оборудование, что позволит эффективно использовать линию производства.

## 8. Контроль производства

Контроль производства огнезащитных экранов на силикатном связующем отражен в табл. П1.3.

**Контроль производства огнезащитных экранов**

Наименование процесса	Контролируемый параметр	Частота контроля	Нормы и технологические показатели	Метод испытания и средства контроля
Входной контроль				
Хранение и подготовка исходных материалов	Марка ГЦПВ	Для каждой партии	М 100–200	ГОСТ 310.4–81
	Влажность заполнителей	1 раз в смену	%	ГОСТ 87350–86
	Насыпная плотность заполнителей	1 раз в смену	кг/м <sup>3</sup>	ГОСТ 87350–86
	Гранулометрический состав заполнителей	Для каждой партии	Ситовой анализ	ГОСТ 87350–86
Промежуточный контроль				
Приготовление ССС	Соотношение компонентов	1 раз в смену	Рабочий состав	Проверка правильности дозирования
Тепловая обработка экранов	Температура/влажность	1 раз в сутки	$T = 80–95 \%$ $W = 60–75 \%$	Термометр/психометр
Приемочный контроль				
Приемка готовой продукции	Линейные размеры, внешний вид	Для каждой партии	мм	ГОСТ 12730.1–73
	Средняя плотность		кг/м <sup>3</sup>	ГОСТ 8462–75
	Прочность на сжатие		МПа	ГОСТ 10180–90
	Морозостойкость	1 раз в квартал или при изменении технологии	$F$ , циклы	ГОСТ 7025–78
	Теплопроводность		Вт/м · К	ГОСТ 7076–78
	Огнестойкость		REI, предел огнестойкости	ГОСТ 30247.0–94

**9. Охрана окружающей среды**

Производство огнезащитных экранов является безотходным производством, не загрязняющим окружающую среду.

При производстве экранов образуются продукты:

- слабоконцентрированные растворы ССС с наполнителем после промывки бетономешалки и раздаточных бункеров. Количество отходов достигает 0,08–0,1 т в смену в пересчете на твердое вещество. Предусматривается очистка воды в отстойниках и система повторного использования этой воды в технологическом процессе;

- цементная пыль и пыль от заполнителей и минеральных добавок, образованная при транспортировании и складировании веществ. Необходимо осуществлять аспирацию системы подачи цемента с максимальной герметизацией и последующей очисткой аспирационного воздуха перед выбросом в атмосферу и возвратом цемента на склад;

- отходы экранов и следы смазки после очистки поддонов и рамок формооснастки. Количество отходов незначительно и зависит от качества поверхностей формооснастки и вида смазки. Остатки бетона собираются в бункера и используются в качестве балласта;

- некондиционная продукция. Данный вид продукции подвергается переработке (разрушению до зерен 5–10 мм) с последующим использованием дробленого бетона в качестве заполнителя (25–30 %).

## 10. Требования безопасности труда

Охрана труда и техника безопасности должны осуществляться по данным нормативным документам:

- СНиП III-4-80 «Техника безопасности в строительстве»;
- ГОСТ 12.1.003–83 «ССБТ. Шум Общие требования безопасности»;
- ГОСТ 12.1.004–91 «ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования»;
- ГОСТ 12.1.005–88 «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»;
- ГОСТ 12.1.007–76 «ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности»;
- ГОСТ 12.1.012–90 «ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования»;
- ГОСТ 12.1.013–78 «ССБТ. Строительство. Электробезопасность. Общие требования»;
- ГОСТ 12.1.014–84 «ССБТ. Воздух рабочей зоны Метод измерения конструкций вредных веществ»;
- ГОСТ 12.1.019–79 «ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура методов защиты»;
- ГОСТ 121002–75 «ССБТ. Шум. Процессы производственные. Общие требования безопасности»;
- ГОСТ 12.1.011–87 «ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация».

К производству работ по изготовлению огнезащитных экранов на силикатном связующем допускаются мужчины и женщины не моложе 21 года, прошедшие медицинское освидетельствование, специальную подготовку, обучение безопасным методам работ и получившие допуск к этим работам.

Все рабочие должны быть обеспечены соответствующей спецодеждой, а также индивидуальными средствами защиты. Все рабочие и производственные помещения должны быть снабжены естественной или искусственной приточно-вытяжной вентиляцией.

## **ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ (ТУ) ОГНЕЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ НА ГЦПВ И ПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЯХ (ПРОЕКТ)**

### **1. Общие требования к выполнению технических условий**

Технические условия (далее – ТУ) в соответствии с ГОСТ 2.102 являются конструкторской документацией, которая содержит требования (совокупность всех показателей, норм, правил и положений) к продукту, его производству, контролю, приемке и поставке, которые нецелесообразно указывать в других КД. ТУ разрабатываются по решению разработчика, заказчика, если это не отражено в техническом задании на выполнение опытно-конструкторской работы.

Общие требования, правила и нормы к выполнению технических условий установлены в ГОСТ 2.114. В соответствии с этим стандартом ТУ необходимо разрабатывать:

- на одно конкретное изделие;
- несколько однотипных изделий в соответствии с требованиями ГОСТ 2.113.

Также в ГОСТ 2.114 описаны правила построения и изложения технических условий. В соответствии с этим ГОСТом ТУ в общем случае должны содержать:

- вводную часть;
- технические требования;
- требования безопасности;
- правила приемки;
- методы испытаний;
- транспортирование и хранение;
- гарантии изготовителя.

При необходимости ТУ, в зависимости от вида и назначения изделия, могут быть дополнены другими разделами и подразделами, или в них могут не включаться отдельные разделы и подразделы, или отдельные разделы и подразделы могут быть объединены в один.

### **2. Проект технического условия на огнезащитные экраны на силикатном связующем**

#### **2.1. Вводная часть**

Настоящие технические условия (ТУ) распространяются на огнезащитные экраны на силикатном связующем, которые применяются для устройства перегородок и несущих стен в различных зданиях и предназначены для устройства легких межкомнатных перегородок, подвесных потолков, облицовки стен и огнезащиты конструкций в зданиях и помещениях с сухим и нормальным влажностными режимами.

Производство огнезащитных экранов на силикатном связующем осуществляется в скоростных смесителях турбулентного типа. В качестве пористых заполнителей рекомендует-

ся применять вспученный вермикулит по ГОСТ 12865–67 «Вермикулит вспученный», вспученный перлит по ГОСТ 10832–91 «Песок и щебень перлитовые вспученные», ускорители твердения, антисептики, антипирены: хлористый кальций по ГОСТ 450–77, кремнеземистые добавки по ГОСТ 24748–81 «Изделия известково-кремнеземистые теплоизоляционные», воздухововлекающую добавку.

Производство огнезащитных экранов разработанного состава по технологической схеме приближено к производству гипсокартонных и гипсоволокнистых листов.

Огнезащитные экраны выпускаются следующих размеров:

- длина от 2000 до 4000 мм;
- ширина 600, 1200 мм;
- толщина 12,5; 14; 16 мм.

В зависимости от требований по звукоизоляции, предъявляемых к помещениям, монтируют одинарную или двойную конструкцию перегородок. Двойная конструкция позволяет также размещать различные инженерные коммуникации. Различают жесткое и эластичное примыкание перегородок к смежным строительным конструкциям.

## 2.2. Технические требования

Экраны должны соответствовать требованиям настоящих технических условий, технической документации и изготавливать по техническому регламенту, утвержденному в установленном порядке.

### 2.2.1. Размеры, отклонения от размеров

Габаритные размеры должны соответствовать указанным в табл. П2.1 нормам.

Таблица П2.1

**Габаритные размеры изделий**

Наименование	Параметры, мм			Объем камня, м <sup>3</sup>	Масса изделия, кг
	длина	ширина	толщина		
Крупноформатный	2500	1200	10; 12,5	0,037	40
Малоформатный	1200	1200	10	0,014	15

Размеры могут меняться по согласованию с заказчиком.

Отклонение от номинальных размеров экранов и показателей их внешнего вида не должны превышать указанных значений, представленных в табл. П2.2.

На поверхности экранов не допускаются жировые и другие пятна размером более 10 мм.

По формам продольных кромок огнезащитные экраны подразделяются на листы с прямой кромкой (ПК) и листы с фальцевой кромкой (ФК). Торцевые кромки листов имеют прямоугольные кромки.

**Отклонение от номинальных размеров**

Наименование показателя	Значения отклонений
Отклонения от размеров, мм по длине по ширине по толщине	$\pm 4$ $\pm 3$ $\pm 2$
Отклонения от прямолинейности ребер и плоскости граней, мм	6
Повреждение углов: длина небольшого катета, мм количество, шт.	20 2
Повреждение продольных кромок: длина, мм глубина, мм количество, шт.	20 5 2
Число экранов с трещинами, % от партии, не более	10

Листы с прямой продольной кромкой предназначаются для устройства конструкций сборных оснований пола. Для обшивки каркасных конструкций (перегородок, облицовок, подвесных потолков, конструкций мансард) применяются листы с фальцевой продольной кромкой.

*2.2.2. Пожарно-технические характеристики*

Группа горючести – Г1 (по ГОСТ 30244–94); группа воспламеняемости – В1 (по ГОСТ 30402–96); группа дымообразующей способности – Д1 (по ГОСТ 12.1.044–89); группа токсичности – Т1 (по ГОСТ 12.1.044–89); группа распространения пламени – РП1 (по ГОСТ Р 51032–97).

*2.2.3. Физико-технические характеристики*

Физико-технические характеристики представлены в табл. П2.3.

Для изготовления огнезащитных экранов на силикатном связующем используются следующие материалы: высокопрочное гипсовое вяжущее Г-13; поргланцемент должен быть марок 500 и 400 и соответствовать требованиям; вспученный перлит фракций не более 5 мм марки 100–150; вспученный вермикулит фракций не более 5 мм марки 100–150; кремнеземистые добавки в качестве активной добавки; воздухововлекающая добавка ОП-7 или ОП-10; вода для затворения сухой строительной смеси.

**Физико-технические характеристики изделий**

Показатели	Значения
Масса 1 м <sup>2</sup> , кг, где $s$ – номинальная толщина листа в мм	Не менее 1,05 $s$ , не более 1,25 $s$
Коэффициент теплопроводности (при плотности от 1000 до 1200 кг/м <sup>3</sup> ), Вт/м · К	От 0,22 до 0,36
Коэффициент теплоусвоения, Вт/м · К	Не более 6,2
Предел прочности при изгибе, МПа	Не менее 5,5
Твердость по Бринеллю, МПа	Не менее 20
Водопоглощение внешней поверхностью листов ГВЛВ, кг/м <sup>2</sup>	Не более 1 за 1 ч
Коэффициент паропроницаемости, Мг/м · ч · Па	0,12
Удельная эффективность естественных радионуклидов, Бк/кг	Не более 370

**2.2.4. Маркировка, транспортирование и хранение**

Маркировка экранов наносится синим цветом на тыльной стороне каждого изделия несмываемой краской и содержит обозначения: вида листов; типа продольных кромок; номинальной длины, ширины и толщины листов (мм); стандарта.

Маркировка транспортных пакетов осуществляется с помощью ярлыков, прикрепляемых к пакетам. На ярлыках указываются: наименование предприятия-изготовителя и его товарный знак и адрес; условное обозначение листов; номер партии и дата изготовления; количество листов в квадратных метрах и штуках; знак соответствия стандарту. На ярлыки наносятся также манипуляционные знаки: «Хрупкое. Осторожно», «Беречь от влаги» и штамп службы технического контроля.

Качество продукции подтверждается: ГОСТом, сертификатом соответствия, сертификатом пожарной безопасности и гигиеническим заключением на применение в жилищно-гражданском строительстве.

**2.3. Требования безопасности**

Огнезащитные экраны на силикатном связующем являются пожаробезопасной и взрывобезопасной продукцией.

При производстве экранов должны соблюдаться требования пожарной безопасности и промышленной санитарии по ГОСТ 12.1.004–91 и ГОСТ 12.3.002–75.

Цеха по производству плит должны быть оборудованы механической общеобменной приточно-вытяжной вентиляцией по ГОСТ 12.4.021, местными отсосами, а также аварийной системой вентиляции с механическим побуждением.

Образующиеся в процессе производства отходы направляются на вторичную переработку. Сточные воды в процессе производства не образуются.

От загрязнения выбросами вредных веществ с целью охраны атмосферного воздуха необходимо проводить постоянный контроль за содержанием предельно допустимых выбросов в соответствии с ГОСТ 17.2.3.02.

По данным лабораторных исследований, содержание вредных веществ в противопожарных экранах не превышает допустимых уровней выделения химических веществ из строительных материалов.

## 2.4. Правила приемки

Каждая партия экранов обязана приниматься службой технического контроля изготовителя в соответствии с требованиями настоящих ТУ и ГОСТ 6428–83.

Приемку плит необходимо производить партиями. Объем партии экранов устанавливают в количестве суточной выработки одной технологической линии не более 1500 штук.

Приемочный контроль необходимо осуществлять проведением приемосдаточных испытаний по следующим показателям:

- внешний вид;
- форма и размеры;
- прочность;
- плотность;
- отпускная влажность экранов;
- водопоглощение.

Для проведения приемосдаточных испытаний по показателям внешнего вида, формы, размеров и объема выборки оценку результатов контроля осуществляют по табл. П2.2. Для проведения контроля экраны отбирают из разных мест партии методом случайного отбора. В случае положительных результатов контроля три экрана используют для контроля по остальным показателям.

Если партия не проходит по требованиям настоящих ТУ по внешнему виду, форме и размерам, допускается ее повторное предъявление для контроля после разбраковки.

Изготовитель должен сопровождать каждую партию экранов документом о качестве. В документе должны быть указаны:

- наименование изготовителя и его адрес;
- наименование и условное обозначение экранов;
- номер партии и дата изготовления;
- прочность экранов;
- плотность экранов;
- отпускная влажность экранов;
- количество экранов в штуках и (или) квадратных метрах;
- штамп и подпись службы технического контроля.

## 2.5. Методы испытаний

Длину, ширину и толщину плит определяют по ГОСТ 6428–83. Длину и ширину плит измеряют рулеткой измерительной металлической по ГОСТ 7502–89.

Определение повреждений углов и ребер производят по ГОСТ 6428–83. За глубину скола принимают величину наибольшую, которую измеряют по лицевой поверхности экрана от ребра и до конца скола.

Отклонение экранов от прямоугольности, согласно ГОСТ 6428–83, определяют по разности длин диагоналей:

- длину каждой диагонали измеряют рулеткой измерительной металлической по ГОСТ 7502–89 один раз на лицевых поверхностях;
- вычисляют разность длин диагоналей для каждой лицевой поверхности.

За отклонение от прямоугольности принимают наибольший из полученных результатов.

Отклонение экранов от плоскости, определяют согласно ГОСТ 6428–83. Экран кладут на ровную горизонтальную поверхность. Линейку измерительную металлическую по ГОСТ 427–75 длиной 1 м прикладывают ребром к лицевой поверхности вдоль диагоналей плиты и шупом измеряют зазор между ребром линейки и поверхностью экрана. За отклонение от плоскостности плиты принимают наибольшее значение.

Определение прочности экранов проводят по ГОСТ 6428–83. Образцы кубиков высушивают при температуре  $60 (\pm 5) ^\circ\text{C}$  24 часа и взвешивают. Затем образцы продолжают сушить до постоянной массы. Время сушки должно быть не менее 2 часов.

Определение плотности проводят по ГОСТ 6428–83. Для определения плотности используют образцы кубиков. На этих образцах сначала определяют плотность, а затем прочность экранов.

Определение отпускной влажности экранов проводят по ГОСТ 6428–83. Пробы высушивают при температуре  $60 (\pm 5) ^\circ\text{C}$  24 часа и взвешивают. Затем пробы продолжают сушить до постоянной массы. Массу считают постоянной, если расхождения между результатами не будут превышать 0,1 %. Время сушки между двумя последующими взвешиваниями должно быть не менее 2 часов. При проведении испытания можно допустить сокращение времени сушки до 4 часов, если соблюдаются условия постоянства массы.

Определение водопоглощения экранов проводят не реже двух раз в месяц по ГОСТ 6428–83. Экраны высушивают в сушильном шкафу при температуре  $60 (\pm 5) ^\circ\text{C}$  24 часа и взвешивают. Затем экран продолжают сушить до постоянной массы. Массу считают постоянной, если расхождение между результатами не будет превышать 0,1 %. Время сушки между двумя последующими взвешиваниями должно быть не менее 2 часов. Затем экран опускается в заполненный водой бак. При этом он должен лежать горизонтально на двух опорах. Нижняя поверхность экрана не должна касаться дна. Верхняя поверхность экрана должна быть покрыта слоем воды около 5 см. После выдержки в течение 120 мин плита извлекается из воды, 5 мин дается на то, чтобы с нее стекла вода, после чего она взвешивается с погрешностью не более 0,1 кг.

## 2.6. Транспортирование и хранение

Транспортирование огнезащитных экранов осуществляется всеми видами транспорта в соответствии с действующими на них правилами перевозки грузов в пакетированном

виде. В заводских условиях транспортные пакеты формируются на поддонах из листов одного вида, группы, партии, типа кромки и размеров. Пакеты с фальцевой кромкой имеют защиту от внешних механических воздействий. Во избежание повреждений кромок при штабелировании пакетов габариты поддонов превышают габариты листов.

Транспортные пакеты имеют заводскую влагозащитную полиэтиленовую упаковку. Пакеты с поврежденной упаковкой при перевозке в открытых транспортных средствах должны быть надежно защищены от попадания в них влаги. При погрузочно-разгрузочных работах, внутрискладских и других перемещениях экранов применяются средства механизации работ (погрузчики, краны и т. д.), работа которых осуществляется на малой скорости, без рывков во избежание механических повреждений продукции.

Транспортирование огнезащитных экранов на этажах строительных объектов осуществляется ручными тележками, а при переноске вручную – с помощью специальных приспособлений в вертикальном положении на продольном ребре листа.

Хранение экранов осуществляется в помещениях с сухим или нормальным влажностным режимом, с соблюдением мер безопасности и сохранения продукции. Общая высота складуемых штабелей не должна превышать 3,5 м. Расстояния между штабелями должно быть не менее 1 м. В монтажной зоне листы необходимо хранить в горизонтальном положении на ровной поверхности.

## ***2.7. Гарантии изготовителя***

Предприятие-изготовитель гарантирует соответствие огнезащитных экранов требованиям настоящих технических условий при соблюдении потребителем условий транспортирования, хранения и указаний по применению.

Гарантийный срок хранения огнезащитных экранов – 12 месяцев с момента изготовления.

# Оглавление

Введение .....	3
<b>Глава 1. Аэрированные легкие растворы и сухие смеси на основе вспученного вермикулита и перлита, а также органических заполнителей, их применение в строительных конструкциях.....</b>	<b>5</b>
1.1. Аэрированные и поризованные легкие вермикулито-перлитопесчаные растворы стяжек полов.....	6
Подбор составов и свойства легких растворов стяжек полов .....	7
Подбор составов вермикулитопесчаных растворов.....	8
Морозостойкость.....	17
Производственные опыты по изготовлению конструктивно-теплоизоляционных материалов и их применению в производстве «теплых» стяжек полов .....	18
Подбор составов аэрированных легких растворов для стяжек полов .....	18
Натурные испытания полов .....	27
1.2. Легкие сухие строительные смеси на гипсовых вяжущих с использованием вспученного вермикулита и перлита.....	33
Общие положения .....	33
1.3. Легкие кладочные, теплоизоляционные, штукатурные сухие смеси .....	41
Поризованные штукатурные растворы .....	42
Декоративные плиты .....	47
1.4. Подбор составов и свойства теплоизолирующих растворов на портландцементе .....	49
Особенности технологии и ремонта теплоизоляции подкрышного пространства панельного дома серии Г-3И .....	58
1.5. Теплоогнезащитные растворы .....	60
1.6. Исследование влияния аэрирования на технические свойства ССС .....	74
Определение свойств составов со вспученным перлитом и вермикулитом .....	78
Результаты высокотемпературных испытаний .....	82
Рентгенофазовый и дифференциально-термический анализ .....	86
Влияние отражательной способности вспученного вермикулита и перлита на их теплопроводность и огнезащитные свойства .....	91
Определение теплопроводности вспученных заполнителей в вакууме.....	93
Результаты дифференциально-термического анализа .....	94
Выводы по главе 1 .....	95
<b>Глава 2. Аэрированные легкие бетоны с применением высокопористых заполнителей. Особенности производства стеновых камней и плит перегородок из них .....</b>	<b>97</b>
2.1. Анализ технических свойств ячеистых бетонов и легких бетонов на пористых заполнителях.....	97
Ячеистые бетоны и изделия из них .....	97

Легкие бетоны на минеральных пористых заполнителях и изделия из них . . . . .	101
2.2. Исследование аэрированных легких бетонов на основе вспученного вермикулита и перлита и других пористых заполнителей . . . . .	104
АЛБ с использованием золы-уноса ТЭЦ и обожженной вермикулитосодержащей породы [123]. . . . .	106
Некоторые особенности получения АЛБ с использованием обожженной вермикулитосодержащей породы и золы-уноса ТЭЦ . . . . .	113
АЛБ с применением органических заполнителей и бумажных наполнителей . . . . .	118
2.3. Использование метода поровых объемов применительно к расчету и подбору составов АЛБ . . . . .	121
Определение поровой составляющей АЛБ. . . . .	124
2.4. Основные свойства аэрированных легких бетонов. Подвижность АЛБ-смесей, прочность и средняя плотность АЛБ . . . . .	125
2.5. Разработка технологии производства стеновых камней и плит перегородок из АЛБ с применением высокопористых минеральных заполнителей. Технико-экономические расчеты . . . . .	132
Разработка технологического регламента производства стеновых камней из АЛБ . . . . .	132
Характеристики исходных материалов и подбор состава АЛБ . . . . .	133
Технологическая схема производства СКАБ с пористым заполнителем. . . . .	135
Расчет мощности цеха СКАБ и потребности в сырье и материалах . . . . .	140
Технологический процесс производства СКАБ на пористых заполнителях и разработка формооснастки . . . . .	141
Факторы, влияющие на кинетику изменения пластической прочности АЛБ-смесей. . . . .	143
2.6. Особенности производства плит перегородок из АЛБ на пористых заполнителях . . . . .	146
Приготовление АЛБ с использованием органических заполнителей . . . . .	148
Песок природный . . . . .	156
2.7. Алгоритм построения оптимальной структуры производства изделий из АЛБ на пористых заполнителях. . . . .	157
2.8. Расчет экономической эффективности работы опытного цеха СКАБ . . . . .	162
Анализ технологического процесса производства СКАБ . . . . .	162
Экономическая эффективность производства плит стеновых перегородок . . . . .	165

## Оглавление

---

Выводы по главе 2 .....	168
Заключение .....	171
Библиографический список .....	174
Приложения .....	182
Приложение 1 .....	182
Приложение 2 .....	192

Научное издание

**Тихонов** Юрий Михайлович  
**Аубакирова** Ирина Утарбаевна  
**Головина** Светлана Геннадьевна  
**Коломиец** Иван Васильевич

**АЭРИРОВАННЫЕ ЛЕГКИЕ РАСТВОРЫ  
И БЕТОНЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ  
ПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ  
И ИЗДЕЛИЯ НА ИХ ОСНОВЕ**

Монография

Редактор *Е. Г. Терскова*  
Корректор *Е. Н. Апринцева*  
Компьютерная верстка *В. С. Весниной*

Подписано к печати 20.08.2021. Формат 70×100  $\frac{1}{16}$ . Бумага офсетная.  
Усл. печ. л. 16,41. Тираж 300 экз. Заказ 78. «С» 42.  
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет.  
190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.  
Отпечатано на МФУ. 198095, Санкт-Петербург, ул. Розенштейна, д. 32, лит. А.