**Министерство строительства
и жилищно-коммунального хозяйства
Российской Федерации**

**Федеральное автономное учреждение
«Федеральный центр нормирования, стандартизации
и оценки соответствия в строительстве»**

Методические рекомендации

ПРИМЕНЕНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЯЧЕИСТОГО ФИБРОБЕТОНА

Москва 2018 г.

gost.e-ecolog.ru

СОДЕРЖАНИЕ

		Стр.
	Предисловие	4
1	Нормативные ссылки	6
2	Термины и определения	10
3	Общие положения	10
4	Требования к материалам. Общая характеристика материалов	11
5	Подбор состава ячеистобетонной смеси	31
6	Подготовка сырьевых материалов и приготовление ячеистофибробетонных смесей	52
7	Технология формования изделий из ячеистого фибробетона	64
8	Тепловая обработка изделий из ячеистого фибробетона	70
9	Контроль качества сырьевых материалов, ячеистофибробетонной смеси и изделий	73
10	Хранение и транспортирование изделий из ячеистого фибробетона	81
11	Особенности проектирования и применения конструкций из ячеистого фибробетона	83
	Приложение 1 (справочное). Общие характеристики различных видов фибры	94
	Приложение 2 (справочное). Результаты исследований коррозионной стойкости стекловолокна	135
	Приложение 3 (справочное). Общие характеристики различных видов пенообразователей	136
	Приложение 4 (справочное). Способ приготовления белкового пенообразователя для получения фибропенобетона	155
	Приложение 5 (рекомендуемое). Исходные составы ячеистого бетона	156
	Приложение 6 (справочное). Ориентировочные значения содержания дисперсного армирования ячеистого фибробетона	162

Приложение 7 (рекомендуемое) Рекомендуемые составы ячеистого фибробетона ……...…… 170
Приложение 8. Список патентов ……...……... 181
Библиография ……..…….. 182

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящие Рекомендации разработаны в развитие СП 339.1325800.2017 «Конструкции из ячеистых бетонов. Правила проектирования» и СП 297.1325800.2017 «Конструкции фибробетонные с неметаллической фиброй. Правила проектирования».

Задачами Рекомендаций являются:

- разъяснение особенностей изготовления и применения ячеистого фибробетона в изделиях и конструкциях жилых и общественных зданий и сооружений.

- обеспечение реализации требований СП 339.1325800.2017 «Конструкции из ячеистых бетонов. Правила проектирования», ВСН 56-97 «Проектирование и основные положения технологий производства фибробетонных конструкций» и СП 297.1325800.2017 «Конструкции фибробетонные с неметаллической фиброй. Правила проектирования»;

- рекомендации и разъяснения особенностей проектирования изделий и конструкций из ячеистого фибробетона;

- развитие положений СП 339.1325800.2017 «Конструкции из ячеистых бетонов. Правила проектирования», СП 297.1325800.2017 «Конструкции фибробетонные с неметаллической фиброй. Правила проектирования», ВСН 56-97 «Проектирование и основные положения технологий производства фибробетонных конструкций», СП 63.13330.2012 «СНиП 52-01-2003 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения» (с изменениями №№ 1, 2), СП 70.13333 «СНиП 3.03.01-87 «Несущие и ограждающие конструкции», для повышения качества выполняемых строительно-монтажных, проектных работ, сокращения сроков и снижения стоимости изготовления за счет использования типовых единых практических подходов к выполнению работ на основе унифицированных методик и технологий.

В Рекомендациях обобщен имеющийся опыт производства изделий из дисперсно-армированного ячеистого фибробетона.

Рекомендации разработаны НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ Строительство» (д. т. н. В.Ф. Степанова, к. т. н. В.И. Савин, к.т.н. В.Н.Строцкий, инж. С.Г. Зимин) в соавторстве с РГСУ (д. т. н., проф. Г.В. Несветаев, к. т. н. Л.В. Моргун).

В Рекомендациях использованы материалы исследований НИИЖБ им. А.А. Гвоздева (доктор материаловедения, академик РИА В.Р. Фаликман, д. т. н. Т.А. Мухамедиев, к к. т. н. А.М. Крохин, к. т. н. Т.А. Ухова, к. т. н. А.В. Бучкин), Ростовского Государственного Строительного Университета (РГСУ) (д. т. н., проф. Г.В. Несветаев, к. т. н. В.Н. Моргун, к. т. н. Л.В. Моргун), Санкт-Петербургского Государственного Архитектурно-строительного университета (д. т. н., проф. Ю.В. Пухаренко, к. т. н. И.О. Суворов), Центра ячеистых бетонов при НП «Межрегиональная Северо-Западная строительная палата», Санкт-Петербург (к. т. н. В.П. Вылегжанин), Национальной Ассоциация производителей Автоклавного Газобетона (НААГ), Санкт-Петербург (Исполнительный директор Г.И. Гринфельд), ГП «НИИСМИ», Киев (д. т. н., проф. С.Д. Лаповская), Томского политехнического университета, Томск (Н.А. Митина, В.А. Лотов), а также авторов Патентов (см. Приложение 3) и авторов, приведенных в Приложении 4 «Список использованной научно-технической литературы».

Замечания и предложения по содержанию Рекомендаций просим направлять в НИИЖБ по адресу: 109389, Москва, 2-я Институтская ул., д. 6.

1 НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

1. ГОСТ 201-76 «Тринатрийфосфат. Технические условия»
2. ГОСТ 310.1-76 «Цементы. Методы испытаний. Общие положения»
3. ГОСТ 310.3-76 «Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема»
4. ГОСТ 310.4-81 «Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии»
5. ГОСТ 969-91 «Цементы глиноземистые и высокоглиноземистые. Технические условия»
6. ГОСТ 2067-93 «Клей костный. Технические условия»
7. ГОСТ 2263-79 «Натр едкий технический. Технические условия»
8. ГОСТ 2823-73 «Термометры стеклянные технические. Технические условия»
9. ГОСТ 3056-90 «Клей казеиновый в порошке. Технические условия»
10. ГОСТ 3476-74 «Шлаки доменные и электротермофосфорные гранулированные для производства цементов»
11. ГОСТ 3773-72 «Аммоний хлористый. Технические условия»
12. ГОСТ 4013-82 «Камень гипсовый и гипсоангидритовый для производства вяжущих материалов. Технические условия»
13. ГОСТ 4146-74 «Реактивы. Калий надсернокислый. Технические условия»
14. ГОСТ 4221-76 «Калий углекислый. Технические условия»
15. ГОСТ 5100-85 «Сода кальцинированная техническая. Технические условия»
16. ГОСТ 5494-95 «Пудра алюминиевая. Технические условия»
17. ГОСТ 5742-76 «Изделия из ячеистых бетонов теплоизоляционные»
18. ГОСТ 7076-99 «Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме»

19. ГОСТ 8325-2015 «Стекловолокно. Нити крученые комплексные. Технические условия»
20. ГОСТ 8736-2014 «Песок для строительных работ. Технические условия»
21. ГОСТ 9179-77 «Известь строительная. Технические условия»
22. ГОСТ 9238-2013 «Габариты железнодорожного подвижного состава и приближения строений»
23. ГОСТ 9552-76 «Цементы глиноземистый, высокоглиноземистый и гипсоглиноземистый расширяющийся. Методы химического анализа».
24. ГОСТ 10178-85 «Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия»
25. ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам»
26. ГОСТ 10690-73 «Калий углекислый технический (поташ). Технические условия»
27. ГОСТ 11118-2009 «Панели из автоклавных ячеистых бетонов для наружных стен зданий. Технические условия»
28. ГОСТ 12730.1-78 «Бетоны. Методы определения плотности»
29. ГОСТ 12730.2-78 «Бетоны. Метод определения влажности»
30. ГОСТ 12871-2013 «Хризотил. Общие технические условия»
31. ГОСТ 13078-81 «Стекло натриевое жидкое. Технические условия»
32. ГОСТ 17139-2000 «Стекловолокно. Ровинги. Технические условия»
33. ГОСТ 17623-87 «Бетоны. Радиоизотопный метод определения средней плотности»
34. ГОСТ 18343-80 «Поддоны для кирпича и керамических камней. Технические условия»
35. ГОСТ 18886-73* «Формы стальные для изготовления железобетонных и бетонных изделий. Общие технические требования»
36. ГОСТ 19113-84 «Канифоль сосновая. Технические условия»

37. ГОСТ 19570-2017 «Панели из автоклавных ячеистых бетонов для внутренних несущих стен, перегородок и перекрытий жилых и общественных зданий. Технические требования»
38. ГОСТ 20259-80 «Контейнеры универсальные. Общие технические условия (с Изменениями №1-4)»
39. ГОСТ 21458-75 «Сульфат натрия кристаллизационный. Технические условия»
40. ГОСТ 21520-89 «Блоки из ячеистых бетонов стеновые мелкие»
41. ГОСТ 21718-84 «Материалы строительные. Диэлькометрический метод измерения влажности»
42. ГОСТ 22693-98 «Нить полиамидная для резинотехнических изделий. Технические условия»
43. ГОСТ 23732-2011 «Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия»
44. ГОСТ 23789 «Вяжущие гипсовые. Методы испытаний»
45. ГОСТ 24211-2008 «Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия»
46. ГОСТ 24748-81 «Штучные термоизоляционные материалы типа известково-кремнеземистых изделий»
47. ГОСТ 25485-89 «Бетоны ячеистые. Технические условия»
48. ГОСТ 25818-2017 «Золы-уноса тепловых электростанций для бетонов. Технические условия»
49. ГОСТ 25892-85 «Зола гидроудаления. Технические условия»
50. ГОСТ 25898-2012 «Материалы и изделия строительные. Методы определения паропроницаемости и сопротивления паропроницанию»
51. ГОСТ 27006-86 «Бетоны. Правила подбора составов»
52. ГОСТ 29167-91 «Бетоны. Методы определения характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении»
53. ГОСТ 31108-2016 «Цементы общестроительные. Технические условия»

54. ГОСТ 31359-2007 «Бетоны ячеистые автоклавного твердения. Технические условия»
55. ГОСТ 31360-2007 «Изделия стеновые неармированные из ячеистого бетона автоклавного твердения»
56. ГОСТ Р 51626-2000 «Волокна химические (синтетические).Требования безопасности»
57. ГОСТ Р 52129-2003 «Порошок минеральный для асфальтобетонных и органоминеральных смесей. Технические условия».
58. ГОСТ Р 53098-2008 «Барда кормовая. Технические условия».
59. СП 15.13330.2012 «СНиП II-22-81*. Каменные и армокаменные конструкции»
60. СП 50.13330.2012 «СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий».
61. СП 63.13330.2012 «СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения»
62. СП 70.13330.2012 «СНиП 3.03.01–87 Несущие и ограждающие конструкции».
63. СП 297.1325800.2017 «Конструкции фибробетонные с неметаллической фиброй. Правила проектирования»
64. СП 339.1325800.2017 «Конструкции из ячеистых бетонов. Правила проектирования»

2 ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Для целей настоящих Рекомендаций используются основные понятия, установленные законодательством Российской Федерации о техническом регулировании, о безопасности зданий и сооружений, о градостроительной деятельности, о пожарной безопасности, термины и определения, установленные СП63.13330.2012, ГОСТ 25485-89, ГОСТ 11118-2009, ГОСТ 18105-2010, ГОСТ 31359-2007, ГОСТ 31360-2007.

В настоящем своде правил применено также следующее определение:

- **ячеистый фибробетон (фибропенобетон)**: бетон пористой структуры, содержащий рассредоточенные, хаотично ориентированные волокна.

3 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Настоящие Рекомендации распространяются на изготовление и применение дисперсно армированных неметаллической фиброй (крупные и мелкие блоки, стеновые панели, плиты перекрытий и покрытий) изделий из неавтоклавного и автоклавного ячеистых пенобетонов: теплоизоляционных марок по средней плотности D100-D400, конструкционно-теплоизоляционных марок по средней плотности D500-D900 и конструкционных марок по средней плотности D1000-D1200.

4 ТРЕБОВАНИЯ К МАТЕРИАЛАМ. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРИАЛОВ

4.1 В качестве вяжущих для приготовления армированного фиброй ячеистого бетона рекомендуется применять:

а) портландцемент марки ПЦ500 ДО по ГОСТ 31108 и ГОСТ 10178 марок не ниже М400 без добавок трепела, глиежа, трасов, глинита, опоки пеплов, содержащий трехкальциевый алюминат (C_3A) не более 4,5% по массе. Удельная поверхность цемента должна быть 3000 $см^2/г$ для конструкционного и конструкционно-теплоизоляционного и 3000–4000 $см^2/г$ – для теплоизоляционного ячеистого бетона. Возможность применения портландцемента более низких марок и шлакопортландцемента должна обосновываться положительными производственными испытаниями.

Для ячеистых бетонов неавтоклавного твердения рекомендуется применять портландцемент без добавок, не ниже марки 400 по ГОСТ 10178 или класса 32,5 по ГОСТ 31108, так как менее активные цементы не обеспечивают достаточно быстрый набор прочности ячеистой массы и тем самым могут привести к осадке смеси. Наличие же добавок может привести к их негативной реакции с белковой пеной и вызвать усадку.

Существенное влияние на усадку оказывает тип цемента и тонкость помола. Использование высокоалюминатных цементов ведет к увеличению усадки.

При прочих равных условиях конечная усадка цементного камня повышается с увеличением содержания двухкальциевого силиката C_2S и трехкальциевого алюмината C_3A, а также удельной поверхности цемента.

Для фибропенобетона повышенной плотности рекомендуется применять портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н по ГОСТ 31108.

Увеличение содержания цемента при постоянном водотвердом соотношении будет способствовать усадке при высыхании. Применение

золы-уноса позволяет снизить количество цемента в сырьевой смеси, и, как следствие, температуру гидратации

б) глиноземистый цемент по ГОСТ 9552 и ГОСТ 969-91, содержание Al_2O_3 – 37,17%, SO_3 – 0,55%, тонкость помола $S_{уд}$ ~ 2900 $см^2/г$. Глиноземистый цемент и тонкомолотый шамот рекомендуется применять в жаростойком фибропенобетоне;

в) зола высокоосновная – по ОСТ 21-60, содержащая CaO не менее 40%, в том числе свободную CaO не менее 16%, SO_3 – не более 6% и R_2O – не более 3,5%;

г) известь негашеную кальциевую по ГОСТ 9179, быстро- и среднегасящуюся, имеющую скорость гашения 5–25 мин и содержащую активные CaO + MgO не менее 70%, «пережога» – не более 2%;

д) шлак доменный гранулированный – по ГОСТ 3476;

е) гипс строительный – по ГОСТ 401374.

Основными компонентами ячеистобетонной смеси автоклавного ячеистого бетона, подлежащими предварительной подготовке (помолу), являются:

- смешанное вяжущее (известково-цементное, известково-шлаковое, шлакощелочное, известково-песчаное);

- зольное вяжущее;

Чаще всего используется технология приготовления известково-песчаного вяжущего путем совместного помола в шаровых мельницах извести и кремнеземистого компонента (кварцевого песка или кислой золы теплоэлектростанций) в примерном соотношении 1:1.

Для изготовления фибропенобетона может быть применена тонкомолотая смесь удельной поверхностью 400–500$м^2/г$, получаемая путем совместного помола портландцемента ПЦ500 по ГОСТ 10178, доменного гранулированного шлака, глиноземистого цемента и гипса. Сроки схватывания смеси – начало, не позднее 1,5–2 ч, конец – не позднее 2–5 ч. При этом отношение массы шлака к массе цемента должно быть равно

0,4±0,05, а отношение массы глиноземистого цемента к массе гипса – 0,3±0,1. Содержание такой гипсоглиноземистой смеси в вяжущем рекомендуется принимать 15–20%.

4.2 В качестве армирующего компонента рекомендуется применять полимерные, стеклянные, минеральные, органические волокна.

4.2.1 Композитную фибру изготавливают из термореактивных полимеров, углеродных, базальтовых и стеклянных волокон. В соответствие с этим разновидности фибры – полимерная, углеродная, базальтовая, стеклянная.

4.2.2 К армирующим волокнам предъявляется ряд требований, в том числе, по химической стойкости и модулю упругости фибры.

Фибра должна отвечать требованиям соответствующих ГОСТ, приведенных в разделе 1 «Нормативные ссылки», а также требованиям европейских стандартов, Технических Условий и Стандартов Организаций, которые приводятся в проектной документации на изделие или (и) в Технологических регламентах на их изготовление при соответствующем технико-экономическом и экспериментальном обосновании в установленном порядке.

Технические характеристики различных видов фибры (фиброволокна) приведены в Приложении 1.

4.2.3 Важнейшей характеристикой любой фибры является ее жесткость, характеризуемая модулем упругости E_b. По величине модуля упругости всю производимую фибру целесообразно классифицировать по двум группам – высокомодольную (с модулем упругости большим, чем у бетонной матрицы), например базальтовую и низкомодульную (с модулем упругости меньшим, чем у бетонной матрицы), например полипропиленовую, с характерным для нее бóльшим относительным удлинением при разрыве.

Низкомодульная фибра производится на полимерной основе. Она имеет модуль упругости $(2–10)\cdot10^3$ МПа, что ниже по жесткости высокомодульной фибры примерно на два десятичных порядка. Эта фибра обеспечивает в значительной мере снижение усадочного растрескивания, снижает усадку, повышает ударную вязкость и морозостойкость бетона, в частности неавтоклавного пенобетона, обеспечивает водоудерживающую способность бетонной смеси.

Высокомодульная фибра с $Eb = (70–250)\cdot10^3$ Мпа и прочностью на растяжение ($R_{f,u}$ до $3,5–4\cdot10^3$ МПа) включает неметаллические виды фибры на основе базальтовых, асбестовых и стеклянных волокон. Высокомодульная фибра обеспечивает значительное упрочнение фибробетона по отношению к исходному бетону-матрице при значительном повышении трещиностойкости (по образованию и ширине раскрытия трещин) как за счет высокого соотношения модулей упругости фибры и бетона E_f/E_b, так и за счет высокого соотношения их прочностей на сжатие – $(R_{f,u}/R_{b,u})$ и на растяжение – $(R_{f,u}/R_{bt,u})$. Фибробетон на основе высокомодульной фибры обеспечивает также повышенную морозостойкость.

В процессе развития в ячеистом бетоне усадочных деформаций фибра воспринимает растягивающие напряжения. Для более эффективного снижения усадочных деформаций и, соответственно, повышения трещиностойкости можно рекомендовать вариант совместного армирования высоко- и низкомодульными волокнами с разными характеристиками, которые существенно улучшают свойства фибропенобетона, по сравнению с моноармированным вариантом.

4.2.4 Важной характеристикой фиброволокна является также другой его модуль – отношение длины к диаметру (ℓ/d). От этого отношения зависит характер нарушения целостности материала (разрушения) – вследствие разрыва фибр или из-за нарушения сцепления фибровой арматуры с бетоном. Соответственно этому универсальной характеристикой модуля фибрового армирования является величина K, характеризуемая отношением $K = \mu\ell/d$.

Качество фибрового армирования оценивается степенью дисперсности армирования, которая характеризуется поверхностью контакта дисперсной арматуры с бетоном, приходящейся на единицу объема материала.

$$F = N \cdot p \cdot l = \frac{\mu}{A \cdot l} \cdot \pi \cdot d \cdot l = \frac{4 \cdot \mu}{d} \cdot \quad (4.1)$$

где N – количество армирующих волокон в единице объема материала;

p – периметр поперечного сечения армирующего волокна фибры;

l – длина армирующих волокон;

μ – объемное содержание армирующих волокон;

A – площадь поперечного сечения армирующего волокна фибры;

d – диаметр армирующего волокна.

4.2.5 Комплексное влияние указанных выше характеристик дисперсного армирования сказывается в итоге на прочности ячеистого фибробетона.

В соответствии с **[4]** остаточная прочность фибробетона на растяжение *Ru,fbt* и соответствующее ей расчетное сопротивление на растяжение *Rfbt* соответствуют стадии работы композитного материала с выключенной из работы бетонной матрицей в силу ее низкой растяжимости в сочетании с двумя возможными механизмами работы фибры в предельной стадии – разрывом (механизм 1) или выдергиванием из бетонной матрицы (механизм 2). В общем случае соотношение разрываемых и выдергиваемых фибр на стадии разрушения будет связано с расчетной длиной анкеровки $l_{f,an}$, определяемой из условия баланса несущих способностей фибры на разрыв и выдергивание по формуле:

$$l_{f,an} = \frac{R_{fu} \cdot d_f}{4 \cdot R_{u,bond} \cdot \eta_f}, \quad (4.2)$$

где $R_{u,\ bond}$ – прочностная характеристика сцепления фибры с бетоном-матрицей;

R_{fu} – прочность фибры на растяжение;

d_f – диаметр фибры;

η_f – коэффициент, учитывающий эффективность анкеровки фибры; его максимальное значение соответствует гладкой фибре, меньшее значение – фибре с повышенной анкеровкой за счет развитости, шероховатости поверхности, анкеров на концах.

При $l_{f,an} < l_f/2$, разрушение будет происходить от разрыва некоторого количества фибр и выдергивания остальных; при $l_{f,an} \geq l_f/2$ – от выдергивания условно всех фибр.

Повышению прочности фибробетона на растяжение будут содействовать такие факторы, способствующие уменьшению расчетной длины анкеровки и повышению соотношения разрываемых и выдергиваемых фибр, как увеличение длины фибры l_f, увеличение относительной длины l_f/d_f, повышение прочности бетона-матрицы и эффекта анкеровки фибры.

В соответствии с [19] прочность фибробетона можно оценивать также с применением правила смесей, согласно которому:

$$R_{фб} = \varphi 2\tau_{сц}(\ell/d)\mu + (1 - \mu)R_б, \qquad (4.3)$$

где $R_{фб}$ – прочность фибробетона;

$R_б$ – прочность исходного бетона;

$\tau_{сц}$ – величина сцепления армирующих волокон с цементным камнем;

d и ℓ – диаметр и длина фибр соответственно;

μ –коэффициент объемного армирования;

φ – комплексный коэффициент, учитывающий эффект взаимодействия и ориентацию волокон и вероятность пересечения ими расчетной плоскости, а также однородность и степень дефектности фибр.

Данная формула наиболее полно отражает вклад отдельных компонентов и связи между ними в общей прочности композитного материала, но не учитывает взаимного влияния волокон и матрицы при формировании структуры фибробетона, а также технологических факторов при изготовлении образцов.

4.2.6 Дисперсное армирование различным фиброволокном в процессе приготовления пенобетонной смеси влияет главным образом на реологические свойства. Высокомодульные волокна (с высоким соотношением ℓ/d) в скоростных смесителях, склонны к агломерации и неравномерному распределению по объему смеси. В связи с этим предпочтительнее использовать низкомодульные (с меньшим отношением длины к диаметру) волокна.

4.3 Для получения поровой структуры ячеистого бетона применяют пенообразователи, обеспечивающие заданную среднюю плотность и требуемые физико-механические показатели ячеистого бетона и удовлетворяющие требованим СН 277-80.

Для формирования прочной структуры межпорового пространства следует применять «жирные» пены [23].

Основными характеристиками, при проектировании составов поризованных материалов на основе белковых и синтетических ПАВ, являются пенообразующая способность и кратность пены. К пенообразователям, применяемым в технологии неавтоклавного пенобетона, предъявляются требования по высокой пенообразующей способности и пеноустойчивости.

Качественный пенообразователь позволяет получать техническую пену, которая вводится в сырьевую смесь для производства пенобетона с заданными характеристиками. В качестве стабилизаторов рекомендуется использовать высокодисперсные минеральные компоненты.

Для обеспечения большей стабильности, в процессе получения пеноконцентрата производится частичный гидролиз аминокислот.

Критическая температура устойчивости пены в смеси составляет 36 °С. Протеиновые пенообразователи дают устойчивую пену при температуре смеси не выше 33 °С, синтетические выше +60 °С.

Пенообразователи можно разбить на две группы: белковые и синтетические. Белковые пенообразователи характеризуются высокой устойчивостью и меньше, чем синтетические, замедляют гидратацию клинкерных минералов.

Основные характеристики различных видов белковых и синтетических пенообразователей приведены в Приложении 3.

4.4 В качестве кремнеземистого компонента для приготовления ячеистого фибробетона рекомендуется применять:

- природные материалы – немолотый кварцевый песок — по ГОСТ 8736 с модулем крупности 1,2–1,8, содержащий SiO_2 (общий) не менее 90% или кварца не менее 75%, слюды не более 0,5%, илистых и глинистых примесей не более 3%, монтмориллонитовых глинистых примесей – не более 1,0%;

При использовании песка, содержащего крупные зерна, превышающие в диаметре толщину перегородок в ячеистой структуре, может произойти ее разрушение с увеличением размера ячеек, приводящее к ухудшению прочностных и теплофизических характеристик пенобетона. Кроме того, в большинстве случаев происходит осаждение таких зерен песка с разуплотнением пенобетона по высоте изделия и ухудшением его качества. При изготовлении пенобетона не следует применять пески с модулем крупности более 2, так как крупные частицы кварца увеличивают толщину межпоровых перегородок.

- вторичные продукты промышленности и энергетики: золы-уноса теплоэлектростанций, продукты обогащения различных руд, продукты собственного производства («горбушки», обрезки):

а) кислую золу-уноса ТЭС по ОСТ 21-60-84, содержащую SiO_2 не менее 45%, CaO – не более 10%, R_2O – не более 3%, SO_3 – не более 3%;

б) зола-уноса ТЭС по ГОСТ 25818;

в) зола гидроудаления по ГОСТ 25892 от сжигания углей удельной поверхностью не более 4000 $см^2/г$. Потери при прокаливании не должны быть более 5% для зол бурых углей и не более 7% для зол каменных углей.

Содержание сернистых соединений в пересчете на SO_3 не должно превышать 2%, а глинистых примесей – более 3%. Лепешки из цементно-зольного теста состава 1:3 должны выдержать испытание на равномерность изменения объема при испытании образцов кипячением в воде по ГОСТ 310.3-76.

б) тонкодисперсные вторичные продукты обогащения руд, с содержанием SiO_2 не менее 60% железистых минералов не более 20%, сернистых соединений в пересчете на SO_3 на более 2%, едкой щелочи в пересчете на Na_2O не более 2%, пылевидных, глинистых частиц не более 3%, слюды не более 0,5%.

Кроме этого, известен ряд материалов естественного и техногенного происхождения, являющихся эффективной заменой кварцевого песка. Одним из таких материалов является туфовый песок – вулканическая горная порода.

В качестве кремнеземистого компонента может применяться также молотый до удельной поверхности 1000-2000 $см^2/г$ керамзит. Часть кремнеземистого компонента (до 20%) может быть заменена молотыми карбонатными материалам.

4.5 Добавки для бетонов

Основной проблемой применения добавок в технологии пенобетона является несовместимость добавки и пенообразователя, приводящая к осадке смеси.

Известно, что все пенообразователи (синтетические и белковые) замедляют процессы гидратации цемента и процессы структурообразования цементного камня.

Удлинение сроков схватывания цементов, затворенных растворами кератинового пенообразователя, от 30 до 75 мин является нежелательным,

так как при этом снижается оборчиваемость форм и производительность предприятий.

Для ускорения процессов структурообразования следует применять соответствующие добавки (см. ниже), компенструющие указанное замедление процессов гидратации цемента и структурообразования цементного камня.

Как отмечается в [23], большинство химических добавок оказывают незначительное влияние на усадку. Воздухововлекающие вещества почти не влияют на усадку при высыхании. Суперпластификаторы мало влияют на усадку, а пластифицирующие добавки могут ее увеличить. К увеличению усадки приводит добавление хлористого кальция, использующегося для ускорения твердения бетона.

Использование (в значительных количествах) в сырьевых составах бетона золы-уноса приводит на стадии приготовления бетонной смеси к повышенному водозатворению (В/Т) и повышенной эксплуатационной равновесной влажности

Для регулирования и улучшения свойств ячеистых бетонов применяют:

- добавки по ГОСТ 24211-91;
- гипсовый камень по ГОСТ 4013;
- доменные гранулированные шлаки по ГОСТ 3476.

Виды добавок и требования к ним, обеспечивающие качество ячеистых бетонов в соответствии со стандартом, должны быть приведены в технологической документации на приготовление ячеистых бетонов конкретных видов.

При применении добавок следует также руководствоваться «Рекомендациями по применению химических добавок при изготовлении ячеистых бетонов» (М., НИИЖБ, 1982) и СН 277-80.

В соответствии с ГОСТ 24211-91 к добавкам для ячеистого бетона следует отнести:

а) добавки, ускоряющие схватывание бетонных смесей и твердение бетона, к которым относятся добавки по таблице 2 Приложения 1 ГОСТ 24211-91, Поташ-П (калий углекислый, карбонат калия) по ГОСТ 10690; тринатрийфосфат (ТНФ) – ГОСТ 201, ТУ 6-08-250;

б) воздухововлекающие добавки, обеспечивающие получение ячеистых бетонов заданной средней плотности при объеме вовлеченного воздуха от 15 до 90% (контакт нефтяной черный рафинированный марки КЧНР-ТУ38-602-22-17);

в) водоредуцирующие, пластифицирующие добавки, снижающие расход воды более чем на 20% и усадочные деформации при высыхании на 35–40% (С-3 по ТУ 6-36-020429-635 и др.);

г) стабилизирующие, водоудерживающие добавки (метилцеллюлоза МЦ по ТУ 6-05-1857)

Для жаростойкого ячеистого фибробетона рекомендуется применять тонкомолотый шамот, суперпластификатор С-3.

Для повышения стойкости базальтовых волокон в ячеистом фибробетоне можно использовать добавку микрокремнезема, которая позволяет снизить количество свободной извести в среде гидратирующего цемента.

4.5.1 Добавки для регулирования процесса структурообразования, нарастания пластической прочности, ускоренного твердения ячеистобетонной смеси и воздухововлекающие

В соответствии с п. 2.11 СН 277-80 химические добавки и поверхностно-активные вещества (ПАВ), применяемые для регулирования процесса структурообразования, нарастания пластической прочности сырца ячеистых бетонов и ускоренного твердения ячеистобетонной смеси должны удовлетворять требованиям:

- гипс двуводный (камень гипсовый и гипсоангидритовый) – ГОСТ 4013;

- калий углекислый (поташ) – ГОСТ 4221 и ГОСТ 10690;

- сода кальцинированная техническая – ГОСТ 5100;

- триэтаноламин – ТУ 6-09-2448;

- тринатрийфосфат (ТНФ) – ГОСТ 201, ТУ 6-08-250;

- стекло жидкое натриевое – ГОСТ 13078.

Триэтаноламин рекомендуется применять в совокупности с тринатрийфосфатом.

Кроме этого применяют следующие добавки:

- сульфанол, детергент советский марки ДС-РАС,

- контакт нефтяной черный рафинированный марки КЧНР по ТУ 38-602-22-17;

- натр едкий технический – по ГОСТ 2263;

- карбоксилметилцеллюлоза – по ОСТ 6-05-386;

- сульфат натрия кристаллизационный – по ГОСТ 21458;

- ускоритель нарастания пластической прочности – УП-1 по ТУ 5870-086-46854090-99;

- гипсовая суспензия и щелочные компоненты.

Расход химических добавок в ПАВ должен назначаться в зависимости от вида вяжущего и уточняться опытным путем.

Рекомендуется также при соответствующем научно-техническом обосновании применять следующие вещества:

а) известь негашеную (по ГОСТ 9179) или гашеную в количестве 5–7% массы цемента;

б) соду каустическую, которая должна удовлетворять требованиям ГОСТ 2263-79. Каустическую соду, как компонент газообраэователя следует употреблять в виде водного раствора 5–10%-ной концентрации. Соотношение каустической соды к твердым компонентам по массе должно быть 100:0,2 (в пересчете на сухое вещество).

В качестве добавки для ускорения процессов структурообразования фибропенобетона рекомендуется применять добавку ЛИГНОПАН Б-2, которая, кроме пластифицирующего эффекта, обладает свойствами

ускорителя твердения и одновременно повышает вязкость пенобетонной смеси, а также содержит нитрат – нитрит кальция (ННК) – известный ускоритель твердения, который дополнительно уплотняет структуру межпоровых перегородок пенобетона и повышает его прочность. Расход (концентрация) добавки ЛИГНОПАН Б-2 составляет 1,5% от массы цемента.

Расход химических добавок в ПАВ должен назначаться в зависимости от вида вяжущего и уточняться опытным путем.

4.5.2 Пластифицирующие, водоредуцирующие добавки

Для уменьшения количества воды затворения в ячеистофибробетонной смеси, и, как следствие, снижения влажностной усадки, рекомендуется использовать пластификаторы, совместимые с пенообразователями [23]. В соответствии с [23] одним из таких пластификаторов является пластификатор «МатЭкос» в виде сухой добавки. Также не оказывают отрицательного воздействия на качество пенобетонной смеси гиперпластификаторы *Melflux* 1641 и 2651 *F* (при расходе 0,2-0,4% от ПЦ). Как отмечается в [23] – «с их использованием возможно достижение достаточно стойкой структуры пенобетонной смеси, а также значительное уменьшения водотвердого отношения, что приводит к укреплению межпоровых перегородок и повышению прочности пенобетона».

Рекомендуется при соответствующем научно-техническом обосновании применять пластификатор СДБ, суперпластификаторы С-3 – по ТУ 6-14-625, по ТУ-6-36-020-4229-625-90 и по ТУ 6-36-020429-635, суперпластификатор Sika ViscoCrete, а также суперпластификаторы С-4 и «Полипласт-СП-3» по ТУ 5870-006-58042865-05.

Суперпластификатор «Полипласт-СП-3» представляет собой смесь полинафталинметиленсульфоната натрия, лигносульфонатов технических, промышленной смеси тиосульфата и роданида натрия. Выпускается в виде порошка и в форме водного раствора. При введении указанного суперпластификатора происходит повышение подвижности ячеистой

фибробетонной смеси при сохранении заданного водотвердого отношения и получении фибропенобетонов с повышенной прочностью.

При изготовлении неавтоклавного фибропенобетона с целью снижения количества воды затворения на 25–30% рекомендуется применять пластифицирующую добавку ЛСТМ в количестве 0,7-0,9% от массы цемента [2].

4.5.3 Добавки – стабилизаторы (водоудерживающие)

Для снижения водоотделение в ячеистобетонных смесях можно применять следующие добавки:

- метилцеллюлоза МЦ по ТУ-05-1857;
- карбоксилметилцеллюлоза – по ОСТ 6-05-386-80;
- алюминат натрия.

Состав и характеристика алюмината натрия приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Состав и характеристика алюмината натрия

Внешний вид	**Белый порошок**
$Na_2Al_2O_4$	Не менее 85%
Al_2O_3	Не менее 54±1%
NaO_2	Не менее 41±1%
Na_2O_3/Al_2O_3	1.25±0,05
Fe	Не более 100 PPM
Нерастворимый остаток	Не более 0,5%
pH 1% водного раствора	Не ниже 12

Добавка алюмината натрия АН значительно снижает водоотделение в ячеистобетонных смесях и не вызывает коррозии арматуры. Кроме этого, при расходе портландцемента 320 кг/м^3 снижается водопглощение ячеистобетонных изделий.

Расход химических добавок и ПАВ должен назначаться в зависимости от вида вяжущего и уточняться опытным путем.

4.5.4 Добавки наномодификаторы

Добавки наномодификаторы согласно [23] могут позволить получить неавтоклавный ячеистый фибробетон со свойствами равными автоклавному ячеистому фибробетону.

Использование наномодификаторов сопровождается увеличением активности цемента и ростом прочности бетона. При этом наблюдается изменение межпоровых перегородок в ячеистом бетоне. Например, при введении углеродных трубок наблюдается увеличение прочности на изгиб образцов с нанокатализатором. В этой связи известна модифицирующая добавка в виде многослойных углеродных нанотрубок диаметром 8–40 нм и длиной 2–50 мкм (Патент РФ №2422408).

На основании результатов исследований, полученных в работе [6], можно рекомендовать применение полифункционального модификатора бетона – МБ-10-01 – по ТУ 5743-04902495332-96, который состоит из органической части, содержащий суперпластификатор минеральной части, содержащий микрокремнезем и золу-унос. Экспериментально было установлено [6], что введение модификатора МБ 10-01 позволяет получать более однородную смесь, способствует снижению водосодержания смеси и уменьшению энергоемкости приготовления смесей. Входящий в состав указанного модификатора суперпластификатор, делает смесь подвижной и удобоукладываемой, а его тонкодисперсная минеральная часть увеличивает вязкость и позволяет улучшить качество распределения волокна. Использование модификатора МБ 10-01 снижает количество дефектов на поверхности волокон после перемешивания.

Рекомендуется также применение модификатора бетона МБ-01 по ТУ 5743-073-46854090-98 (взамен ТУ 5743-049-02495332-96), представляющего собой порошкообразный продукт на органо-минеральной основе, содержащий в своем составе микрокремнезем конденсированный и пластификатор I группы по ГОСТ 24211 – пластификатор С-3.

В качестве наномодифицированной добавки известна также комплексная добавка полисахаридов. В соответствии с [23] в

активированном 3%-ной комплексной добавкой полисахаридов пенобетоне плотностью 800 кг/м^3 прочность на растяжение при изгибе повышается до 3,6 МПа.

Эффективной наноструктурированной добавкой в пенобетонную смесь является кремнезоль [23]. Для пенобетона средней плотности 600 кг/м^3 введение 1% кремнезоля повышает прочностные, теплофизические и эксплуатационные параметры. Свойства неавтоклавного пенобетона с добавкой кремнезоля сопоставимы с требованиями для автоклавных пенобетонов. Образцы пенобетона с кремнезолем плотностью 600 кг/м^3 характеризуются прочностью при сжатии 3,6 МПа, при изгибе – 1,7 МПа. Автоклавный же пенобетон плотностью 800 кг/м^3, активированный кремнезолем, приобретает еще большую прочность при сжатии, равную 5,4 МПа и при изгибе – 2,5 МПа.

В качестве нанодобавки [23] для стабилизации параметров структуры в ячеистобетонную смесь рекомендуется вводить синтетических цеолиты. Небольшое содержание синтетических цеолитов оказывает положительное влияние на свойства пенобетона.

4.5.5 Добавки – наполнители

Для снижения усадочных явлений в сырьевую ячеистофибробетонную смесь рекомендуется вводить различные наполнители и добавки, позволяющие снизить расход вяжущего.

Такие материалы, как микрокремнезем, зола уноса ТЭЦ, гранулированный шлак по ГОСТ 3476 в качестве мелкодисперсных наполнителей используют в составе вяжущего вещества для сокращения расхода портландцемента. Мелкодисперсные наполнители бронируют пленки пены и создают устойчивую мелкопористую структуру, увеличивают плотность упаковки частиц цемента и заполнителя, находящихся в межпоровом пространстве, и соответственно, прочность пенобетона.

Для сокращения расхода цемента при сохранении заданной прочности рекомендуется использование высокоактивной минеральной добавки –

микрокремнезема (1кг микрокремнезема может заменить 20 кг портландцемента).

К мелкодисперсным наполнителям, кроме уже указанных, относятся также мелкий кварцевый песок, минеральный порошок неактивированный МП-1 (ГОСТ Р 52129), отходы дробления гранитного щебня (см. ниже) и т.д.

Характеристики золы-уноса ТЭС приведены в таблице 1 ГОСТ 28818.

При этом, следует иметь в виду, что использование (в значительных количествах) в составах ячеистого фибробетона золы уноса приводит на стадии приготовления бетонной смеси к повышенному водозатворению (В/Т) и повышенной эксплуатационной равновесной влажности ячеистого бетона.

Использование мелкодисперсных наполнителей в качестве заполнителя при получении пенобетона увеличивает прочностные показатели при сокращении расхода цемента. В целях частичной компенсации негативных факторов (повышенное трещинообразование и развитие усадочных деформаций), связанных с применением этих мелкодисперсных наполнителей, рекомендуется введение небольшого количества крупного песка в составе наполнителя пенобетона.

Для сокращения усадочных деформаций в ячеистофибробетонной смеси в **[23]** рекомендуется использовать смесь наполнителей разной крупности: тонкодисперсного минерального порошка МП-1 и крупного песка с модулем крупности Мкр = 2,2. Минеральный порошок МП-1 (неактивированный) ОАО «Новоизборский комбинат нерудных материалов» производится в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52129. Характеристики МП-1 представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Характеристики МП-1

Наименование показателя	МП-1 неактивированный	Требования ГОСТ Р 52129
Зерновой состав,% по массе Мельче 1,25мм Мельче 0,315мм Мельче 0,071мм	 100 93,7 73,8	 не менее 100 не менее 90 от 70 до 80
Удельная поверхность по ПСХ-2, $см^2/г$	4400	не нормируется
Содержание Al_2O_3 + Fe_2O_3,% по массе	1,7	не более 1,7

По данным проведенных исследований [7], [26] в качестве мелкого наполнителя неавтоклавного пенобетона в [23] рекомендуется применять пылевидную составляющую (пылевидную фракцию крупностью менее 0,16 мм) отходов (отсевов) камнедробления (ПОК) и (ОД) с максимальной крупностью 0,072 мм, образующихся в процессе производства гранитного щебня и утилизации бетонных отходов после сноса зданий.

Для повышения устойчивости пены, а также устранения осадки смеси и повышение прочности фибропенобетона при сжатии в [23] и [22] рекомендуется использование тонкомолотого заполнителя с удельной поверхностью 120–150 $м^2/кг$, в частности, известняков с различным содержанием $CaCO_3$. Для усиления реакционной способности цементосодержащей матрицы и повышения устойчивости пенобетонной массы в [23] рекомендуется также использовать золь-добавки ортокремниевой кислоты, берлинской лазури, гидроксида железа.

Для повышения трещиностойкости неавтоклавного пенобетона в [2] рекомендуется вводить в состав ячеистобетонной смеси добавку латекса в количестве 1,5–3% от массы цемента.

В качестве наполнителя для снижения плотности и увеличения прочностных характеристик ячеистой фибробетонной смеси на микроуровне применяются аппретированные полые стеклянные микросферы марки МС-ВП-А9*, изготовленные по ТУ 6-48-91-92 в ОАО «НПО Стеклопластик» с

использованием аппрета марки АГМ-9. (Патент RU 2568207 С1). Аппрет представляет собой кремнийорганическую гидрофобизирующую жидкость γ-аминопропилтриэтоксилан, который вводится в состав микросфер в процессе их производства в количестве 0,3% от массы микросфер. Полые стеклянные микросферы представляют собой белый сыпучий порошок плотностью 0,29 г/см^2, состоящий из тонкостенных микросфер диаметром 20–160 мкм с толщиной стенки менее 2 мкм. Состав стекла и почти правильная сферическая форма микросфер обеспечивают их высокую прочность при сжатии, хорошую адгезию к связующим вещества, что способствует увеличению прочности пенофибробетона и коэффициента конструктивного качества, характеризующегося отношением прочности ячеистого пенобетона к его плотности.

Уменьшить усадочные деформации и повысить трещиностойкость крупноразмерных конструкций из неавтоклавного ячеистого бетона при соответствующем научно-техническом обосновании можно также путем введения в состав сырьевой смеси ячеистых бетонов средней плотности выше 550 кг/м^3 некоторого количества пористых заполнителей – дробленого керамзита, перлита, вермикулита крупностью до 5 мм.

В жаростойкий фибропенобетон рекомендуется вводить добавку в виде тонкомолотого шамота.

4.5.6 Расширяющие добавки

Расширяющие добавки и напрягающий цемент допускается использовать при соответствующем научно-техническом обосновании в технологии фибропенобетона естественного твердения.

В [23] рекомендуется применять глиноземистый или высокоглиноземистый цемент, а также добавку «Алак», разработанную АО «НИИцемент», позволяющую получить малоусадочные и «безусадочные» ячеистые бетоны с помощью баротехнологии и турбулентной активизации вяжущих материалов.

По данным [23] добавление 10% сульфоалюминатной добавки позволяет снизить усадочные деформации пенобетона плотностью 700 кг/м^3 с 2,2 до 1,1 мм/м.

Расширяющие добавки согласно [15] могут быть получены путем тщательного перемешивания в шаровой мельнице глиноземистого цемента ГЦ 50 в качестве алюминатного компонента (по ГОСТ 969 – 91 с содержанием Al_2O_3 – 37,17%, $S0_3$ _ 0,55%, тонкостью помола Syд ~ 2900 см^2/г) и природного молотого гипсового камня (в качестве сульфатного компонента, соответствующего по ГОСТ 4013) до требуемой тонкости помола – 3500...4000 см /г.

В качестве расширяющих компонентов согласно [2] могут применяться высокоглиноземистый шлак вместе с сульфатным компонентом – двуводным гипсом.

Рабочий состав фибропенобетонной смеси с расширяющейся добавкой по данным [15] приведен в таблице П7.15 Приложения 7.

4.6. Вода для приготовления бетона должна соответствовать требованиям ГОСТ 23732. Жесткость воды следует понижать для лучшего пенообразования. Увеличение содержания воды увеличивает усадку при высыхании, так как количество испаряемой воды в единице объема увеличивается. Рекомендуется для уменьшения усадочных деформаций снижать водотвердое соотношение, сохраняя при этом необходимое количество цемента.

5 ПОДБОР СОСТАВА ЯЧЕИСТОБЕТОННОЙ СМЕСИ

5.1 При подборе состава ячеистого фибробетона (ЯФБ) с заданными свойствами следует учитывать особенности его как композита, обусловленные наличием дополнительного, по сравнению с традиционным бетоном, компонента – фибры.

5.2 Подбор состава ячеистого фибробетона производится на основе положений и по методике (п.4) СН 277-80 и ГОСТ 27006-86 с учетом влияния вводимой фибры на свойства ячеистофибробетонной смеси (в т.ч. реологические), а также свойства ячеистого фибробетона.

5.3 Подбор состава ячеистофибробетонной смеси или сырьевой шихты, как правило, рекомендуется выполнять в два или несколько этапов. Вначале определяется ориентировочный состав смеси, который затем корректируется опытным путем.

На первом этапе подбирается ориентировочный состав смеси для исходного ячеистого бетона, в первую очередь, по его классу по прочности на сжатие и другим требуемым проектным показателям, который затем корректируется опытным путем. Например, для теплоизоляционного ячеистого бетона на известковом вяжущем оптимизируется соотношение извести и кремнеземистого компонента в вяжущем. Кроме этого, для теплоизоляционного газосиликата определяется рациональное количество добавки полуводного гипса для регулирования сроков схватывания ячеистобетонной смеси.

На втором этапе производится корректировка состава сырьевой шихты с учетом введения фибры и ее влияние на соотношения компонентов смеси и ее свойства, исходя из оптимальных условий формования ячеистобетонных изделий. В качестве критерия выбирается предел прочности при изгибе. В результате корректирования определяется номинальный состав ячеистофибробетонной смеси.

Подбор ориентировочного состава смеси для исходного ячеистого

бетона

5.4 Задание по подбору состава ячеистобетонной смеси должно содержать следующие данные:

- проектную прочность ячеистого фибробетона в конструкции на осевое растяжение в заданные сроки, а также проектную прочность при сжатии в возрасте 28 суток R_{fb} (МПа);

- толщину формуемого слоя ячеистого фибробетона δ, мм;

- отношение кремнеземистого компонента к вяжущему (С) по массе в ячеистобетонной смеси;

- требования к текучести – диаметр расплыва смеси по Суттарду, см;

- температуру смеси;

- расход газообразователя или водного раствора пенообразователя $P_{п}$ на замес;

- водотвердое отношение (В/Т);

- марку или активность цемента при испытании по ГОСТ 310.4, $R_{ц}$, (МПа);

Водотвердое отношение (В/Т) должно назначаться для каждого состава, исходя из требований к текучести и температуре смеси, указанных в таблицах 3 и 4 СН 277-80.

5.5 Подбор состава ячеистобетонной смеси должна осуществлять заводская лаборатория на образцах в соответствии с Инструкцией СН 277-80, а затем уточнять его в производственных условиях на промышленных изделиях. Работа по подбору состава ячеистобетонной смеси сводится к установлению оптимального расхода сырьевых материалов при зеданной средней плотности, обеспечивающего требуемые прочность, морозостойкость и трещиностойкость.

При подборе номинального состава ЯФБ на первом этапе рекомендуется опытным путем определять относительную величину содержания кремнеземистого компонента, исходя из условия обеспечения оптимальных соотношений, обеспечивающих однородность ячеистого

фибробетона.

На первом этапе оптимизируется соотношение извести и кремнеземистого компонента в вяжущем. В качестве критерия выбирается предел прочности при изгибе.

Оптимизация CaO/SiO_2 проводилась на песке с тремя различными дисперсностями (3000, 4000 и 5000 $см^2/г$., охватывающими весь диапазон применяемого песка при производстве теплоизоляционного газосиликата в заводских условиях. В качестве примера в таблице 5.1 приведены оптимальные (по прочности при изгибе) составы сырьевой шихты для теплоизоляционного газосиликата для каждой из указанных дисперсностей песка.

Таблица 5.1 – Оптимальные составы сырьевой шихты теплоизоляционного газосиликата по прочности при изгибе для дисперсности песка 3000, 4000 и 5000 $см^2/г$

Компоненты	Содержание компонентов, в% для дисперсности песка, $см^2/г$		
	3000	4000	5000
Известь гашеная	8	17	26
Известь негашеная	25	25	25
Песок	57	48	39
Шлак молотый	10	10	10

Примечание: В сырьевой шихте использовалась негашеная известь с активностью $CaO + MgO$ – 86% скоростью гашения 10 мин и гашеная известь с активностью 59%.

5.6 Подбор состава ячеистобетонной смеси (для автоклавного ЯФБ и неавтоклавного ЯФБ на золе-уносе) для опытных замесов должен назначаться с учетом исходных значений отношения С массы кремнеземистого компонента к массе вяжущего, приведенных в таблице 2 СН 277-80.

Отношение $C_{кв}$ массы кремнеземистого компонента к массе известково-цементного вяжущего устанавливают расчетом по формуле (1) СН 277-80, которая имеет вид:

$$C_{кв} = C_{ц}n + C_{и}(1-n), \quad (5.1)$$

где $C_{ц}$ и $C_{и}$ – отношение массы кремнеземистого компонента соответственно к массе цемента и извести (в расчете на 100% $CaO + MgO$);

n – доля цемента в вяжущем, которая находится в пределах 0,35–0,7 по массе.

5.7 Ориентировочные соотношения кремнеземистого компонента и вяжущего, которые можно использовать при подборе ячеистобетонных смесей на портландцементе марки 400 (с добавкой извести) для неавтоклавного ЯФБ (за исключением ячеистого бетона на золе-уносе) в зависимости от его плотности и количества извести, приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2

Показатель	Средняя плотность ячеистого бетона, кг/м^3			
	350–400	700–900	900–1100	1100–1200
Соотношение кремнезистого крмпонента и вяжущего (цемент марки 400)	0,5–1,0	1,0–1,5	1,25–1,75	1,5–2,0
Количество извести, кг	8–10	14–16	16–18	18–20

Примечание: Вместо извести можно вводить каустическую соду в количестве 0,2% массы твердых компонентов.

5.8 Водотвердое отношение (В/Т) должно назначаться для каждого состава в зависимости от плотности ЯФБ, исходя из требований к текучести и температуре смеси, указанных в таблицах 3 и 4 СН 277-80.

За исходное водотвердое отношение (В/Т) принимается такое значение, которое обеспечивает необходимую текучесть раствора, определяемую с помощью вискозиметра Суттарда.

5.9 Расход воды на замес и температура ячеистобетонной смеси для неавтоклавного ЯФБ должны назначаться независимо от плотности ЯФБ и вида вяжущего, исходя из следжующих требований к реологическим характеристикам формовочной массы:

- при литьевой технологии – диаметр расплыва смеси по Суттарду должен быть 14–20 см, а температура 40–48 °С;

- при вибрационной технологии – 9–14 см, а температура 35–45 °С;

- при вибрационной технологии с прерывистым режимом вибрирования рекомендуется применять смеси с повышенной жесткостью, характеризующиеся глубиной погружения конуса СтройЦНИЛ, равной 3–6 см, и температурой 30–35 °С.

5.10 Дя пенообразователей величина α составляет 0,65–0,75, а величину кратности пены K_n следует определять опытным путем. Для различных пенообразователей он колеблется в пределах от 5 до 25. Методика определения величины кратности пены *Kn*, приведена в п.7.3 настоящих Рекомендаций.

5.11 Пористость $П_г$ определяется по формуле (3) СН 277-80, имеющей вид:

$$П_г = 1 - \frac{\gamma_c}{K_c}(W + B/T), \tag{5.3}$$

где γ_c – заданная средняя плотность ЯФБ в сухом состоянии, кг/м³;

K_c – коэффициент увеличения массы ячеистого бетона за счет связанной воды, принимается в соответствии с п.4.8 СН 277-80 равным 1,1;

W – удельный объем сухой смеси, л/кг;

В/Т – водотвердое отношение.

5.12 Пористость $П_г$ можно также рассчитывать по формуле

$$П_Г = 1 - \frac{\rho_m^{Я}(1 + B/T)}{K_c \rho_m^{р}} \tag{5.4}$$

где $\rho_m^{я}$ – заданная средняя плотность ячеистого бетона в сухом состоянии, кг/м^3;

Кс – коэффициент увеличения массы ячеистого бетона за счет связанной воды;

ρ_m^p – фактическая средняя плотность непоризованной растворной смеси, кг/м^3. Для смесей на песке она составляет около 1900–2200 кг/м^3, а на золе – 1700–1900 кг/м^3.

5.13 Удельный объем сухой смеси определяется на основании опытного замеса и рассчитывается по формуле (4) СН 277-80

$$W = \frac{1 + B/T}{\gamma_{\text{р}}^{\Phi}} - B/T, \tag{5.5}$$

где $\gamma_{\text{р}}^{\Phi}$ – фактическая средняя плотность непоризованной растворной смеси, кг/м^3. Для смесей на песке величина $\gamma_{\text{р}}^{\Phi}$ составляет около 1900–2200 кг/м^3, а на золе – 1700–1900 кг/м^3.

5.14 Пена, полученная в барабане пенобетономешалки, должна иметь кратность пены ($К_{\text{п}}$) 7–20 и стабильность (С) не менее 85%. Коэффициент стойкости пены в растворной смеси ($К_{сп}$) должен быть не менее 0,75. Методика определения кратности, стабильности и коэффициента стойкости пены приведена в п.9.3 Настоящих Рекомендаций.

5.15 Расход материалов на замес определяют по формулам (5)– (11) СН 277-80.

Состав рекомендуется предварительно назначать с учетом отношения массы наполнителя к массе вяжущего (С). Ориентировочно можно принимать С = 0,75.

5.16 За исходное водотвердое отношение (В/Т) принимается такое значение, которое обеспечивает необходимую текучесть раствора, определяемую с помощью вискозиметра Суттарда. Предварительный расход материалов можно также определять по следующим расчетным зависимостям:

$$P_{сух} = \frac{\rho_c}{K_c} \cdot V, \tag{5.6}$$

$$P_{вяж} = \frac{P_{сух}}{C+1}, \quad (5.7)$$

$$P_k = P_{сух} - P_{вяж}, \quad (5.8)$$

$$В = Р_{сух} \cdot (В/Т), \quad (5.9)$$

где $P_{сух}$ – расход сухих материалов, кг;

$P_{вяж}$ – расход вяжущего вещества, кг;

$P_к$ – расход кремнеземистого компонента, кг;

В – расход воды, л;

V – заданный объем замеса, л;

ρ_c – заданная средняя плотность бетона, кг/л;

$K_г$ – коэффициент, учитывающий увеличение массы бетона за счет связанной воды, принимаемый ориентировочно равным 1,1.

5.17 Ориентировочный расход пенообразователей для получения 10л пены рекомендуется принимать равным 0,5л. В случае поризации растворной смеси за счет вспенивания при интенсивном перемешивании в турбулентном смесителе (пенообразователь вводится непосредственно в растворную смесь) его расход составляет 10-20 л/м^3 при средней плотности ячеистого бетона 800–850 кг/м^3.

При этом расход и концентрацию для каждого из применяемых в настоящее время пенообразователей следует принимать индивидуально. Концентрация и расход некоторых пенообразователей приведены выше (см. пп. 4.3.1, 4.3.2). Следует также иметь в виду, что повышенное содержания пенообразователей в составе пенобетонов снижает их прочность и ухудшает конструкционные свойства.

5.18 Концентрацию водного раствора пенообразователя ПО-ЗНП рекомендуется принимать 2%. Оптимальный расход пенообразователя для пеносмесей из условий агрегативной устойчивости рекомендуется принимать 1–1,2% от массы твердых компонентов [15]. Пенобетонные смеси без фибры характеризуются высокой скоростью набора и падения пластической

прочности в узком интервале (0,1%) изменения расхода пенообразователя ПО-ЗНП. При этом следует принимать во внимание рекомендации в [15], согласно которым пеноструктуры без фибрового армирования характеризуются двукратным снижением пластической прочности при повышении расхода ПО-ЗНП до 1,5%.

Увеличение расхода ПО-ЗНП до определенного предела способствует снижению средней плотности смесей. Максимальное снижение плотности у пеносмесей без фибрового армирования наблюдается при 1%-ном содержании ПО-ЗНП. Дальнейшее насыщение пеносмесей пенообразователем приводит к росту средней плотности.

При дальнейшей корректировке состава (см. ниже п. 5.26) уже с учетом влияния дисперсного армирования следует принимать во внимание результаты исследований [15], согласно которым фибропенобетонные смеси, в оличие от пенобетоннных без дисперсного армирования, отличаются бóльшим диапазоном расхода пенообразователя ПО-ЗНП, в котором их физико-механические свойства стабильны.

5.19 Оптимальный расход пенообразователя «Ареком-4» (из условия минимальной средней плотности) рекомендуется согласно [15] принимать равным 0,27% от массы твердых компонентов. Характер влияния пенообразователя «Ареком-4» на динамику вязко-пластических свойств пеносмесей идентичен ПО-ЗНП. Однако, скорость набора пластической прочности пеносмесей с «Ареком-4» ниже, чем с ПО-ЗНП.

При дальнейшей корректировке состава (см. п. 5.35) следует принимать во внимание, что у фибропенобетонов концентрация пенообразователя «Ареком-4», соответствующая максимальному снижению плотности, находится в бóльшем диапазоне значений (0,3–0,325%) по сравнению с пенобетоном. Дальнейшее насыщение пеносмесей пенообразователем приводит к росту средней плотности, причем у фибропеносмесей в меньшей (на 20% ниже) степени, чем у пеносмесей без фибрового армирования.

5.20 В таблице 5.3 по данным [23] приведены составы пенобетонов с добавкой минерального порошка (МП-1), приготовленных на основе некоторых пенообразователей.

Таблица 5.3 – Сырьевые составы и результаты испытаний образцов пенобетона, приготовленного на основе пенообразователей Laston, GreenFroth, Reniment SB31L и ПБ-Формула 2012 по данным [23]

Вид пенообразователя	ПЦ кг/м^3	Песок, кг/м^3	Наполнитель МП-1, кг/м^3	В/Т	Плотность пены, г/л	Рабочий р-р,%	Средняя плотность, кг/м^3	Прочность на сжатие, МПа
ПБ-Формула 2012	300	480	300	0,23	100	1	1202	4,6
Laston	300	480	300	0,24	120	6	1185	3,5
Green Froth	300	480	300	0,26	80	5	1216	4,4
Reniment SB31L	300	480	300	0,26	75	4	1219	4,5

В таблицах 5.4 и 5.5 по данным [27] приведены составы пенобетона различных плотностей с расходами жидкого пенообразователя «Омпор» и порошкообразного пенообразователя «Омпор-Люкс».

Таблица 5.4 – Составы пенобетона марок по средней плотности D300-D800 с расходами пенообразователей «Омпор» и «Омпор-Люкс»

Плотность пенобетона, кг/м^3	Цемент ПЦ500Д0, кг/м^3	Зола, кг/м^3	Расход Пенообразователя, кг/м^3	
			«Омпор»	«Омпор-Люкс»
300	268	0	3,4	0,67
400	357	0	3,2	0,64
500	357	100	3,0	0,61
600	348	210	2,8	0,56
700	406	245	2,6	0,53
800	379	376	2,4	0,50

Примечание: Пенобетон изготавливался по двухстадийной технологии путем смешивания с цементным тестом пены, полученной из пенообразователей «Омпор-Люкс» и «Омпор» в концентрации по сухому веществу.

Таблица 5.5 – Состав сухой смеси для производства пенобетона марки по средней плотности D400 с оптимальным (по структуре пенобетона и из экономической целесообразности) расходом пенообразователя «Омпор-Люкс»

Плотность пенобетона, кг/м^3	Цемент ПЦ500Д0, %	Сухой заменитель жидкого стекла, %	«Омпор-Люкс», % от массы цемента	Прочность при сжатии, МПа
426	99,44	0,08	0,49	1,17

Примечания:

1. Пенобетон изготавливался по одностадийной технологии путем добавления 0,6л воды на каждые 950г сухой смеси при перемешивании в течение 40 сек на высокоскоростном смесителе (1100 мин$^{-1}$).

2. В качестве сухого заменителя жидкого стекла использовался $Na_2SiO_3 \cdot 9H_2O$.

5.21 Исходные, ориентировочные составы ячеистобетонных смесей, апробированные в производственных условиях, для изготовления конструкционно-теплоизоляционного и теплоизоляционного пенобетона приведены в Приложении 5 (таблицы П.5.1-П.5.10).

На втором этапе производится корректирование состава ячеистого бетона с учетом введения фибры и ее влияния на соотношения компонентов смеси и ее свойства. В результате корректирования определяется номинальный состав ячеистофибробетонной смеси.

Подбор номинального состава ячеистофибробетонной смеси

Подбор состава ячеистого фибробетона производится с учетом влияния вводимой фибры на свойства ячеистофибробетонной смеси (в т.ч. реологические), а также свойства ячеистого фибробетона.

5.22 Состав ячеистого фибробетона должен обеспечить получение материала требуемой прочности при заданных технологических свойствах ячеистобетонной смеси, назначаемых, исходя из принятой технологии производства изделий.

Состав ячеистого фибробетона подбирается в лабораторных условиях опытно-расчетным путем с обязательным контролем и соответствующей корректировкой в производственных условиях.

Задание по подбору состава ячеистого фибробетона должно содержать, кроме указанного в п. 5.4, также:

- временное сопротивление фибры разрыву (МПа);

- длину фибры l_f, мм.

В числе основных факторов, влияющих на прочность ЯФБ и текучесть ячеистобетонной смеси, являются содержание (процент или коэффициент дисперсного армирования) фибр и их длина.

Ориентировочный процент фибрового армирования определяется, исходя из требуемой прочности ячеистого фибробетона на осевое растяжение.

5.25 При подборе состава ячеистого фибробетона (ЯФБ) с заданными свойствами следует учитывать особенности его как композита, а также ячеистофибробетонных смесей, обусловленные наличием дополнительного, по сравнению с традиционным бетоном, компонента – фибры.

Дисперсная арматура при введении ее в бетонную смесь влияет на пустотность и суммарную удельную поверхность компонентов смеси, как дополнительный заполнитель, а также на реологические свойства. При этом изменяется объем цементного теста, водотвердое отношение по сравнению с исходным бетоном, необходимый для формирования оптимальной структуры ячеистого фибробетона.

Расход фибры (Φ_m и Ф) по массе и по объему номинального состава ячеистого фибробетона рассчитывают по следующим формулам:

$$Ф_m = \mu_{fm} \cdot P_{сух} \quad \text{или} \quad \Phi = 10 \cdot \mu_f \cdot \gamma_ф, \qquad (5.10)$$

где μ_{fm} – коэффициент фибрового армирования по массе;

μ_f – процент фибрового армирования по объему;

$\gamma_ф$ – плотность фибры в г/см^3.

Расход (в кг) вяжущего ($P_{вяж}$), кремнеземистого компонента ($P_к$) и воды (В) на 1 м^3 номинального состава ячеистого фибробетона рассчитывают последовательно по формулам (3.6) – (3.9).

5.26 На пробных замесах определяют удобоукладываемость номинальной рассчитанной ячеистофибробетонной смеси и ее соответствие требуемой. При необходимости вносят соответствующие поправки. При подборе состава ячеистого фибробетона по технологическим свойствам следует в первую очередь учитывать, что введение фибры снижает подвижность получаемой смеси ЯФБ по сравнению с исходной бетонной смесью.

Влияние фибры и повышение водопотребности ЯФБ смеси определяется опытным путем. В дополнительных замесах определяют характеристики ячеистофибробетонной смеси номинального, расчетного состава с определенной удобоукладываемостью и при необходимости вносятся соответствующие поправки.

Основными факторами, влияющими на прочность ячеистого фибробетона и подвижность (текучесть) смеси, являются, в том числе содержание фибры, ее длина, а также диаметр.

При учете расхода пенообразователей следует принимать во внимание рекомендации [15], согласно которым фибропенобетон, в оличие от пенобетона без дисперсного армирования, характеризуется бо́льшим диапазоном расхода пенообразователя ПО-ЗНП, в котором его физико-механические свойства стабильны. Дисперсно армированные фибропеносмеси в диапазоне расхода пенообразователя (ПО-ЗНП) от 1,0 до 1,5% от массы твердых компонентов имеют такую же агрегативную

устойчивость, что и неармированные пеносмеси с расходом данного пенообразователя не более 1,2%. То есть, фибропеносмеси более устойчивы и стабильны в достаточно широком диапазоне расхода пенообразователя ПО-ЗНП по сравнению с неармированными пеносмесями, у которых скорость набора и падения пластической прочности находится в узком интервале (0,1%) изменения расхода данного пенообразователя (см. 5.20).

Твердеющие дисперсно армированные пенобетоны, содержащие 1% ПО-ЗНП, обладают максимальной пластической прочностью, в 1,5...2,0 раза выше прочности пенобетона, не содержащего дисперсной арматуры. В отличие от пеноструктур без фибрового армирования фибропеноструктуры характеризуются стабильными показателями пластической прочности при расходе пенообразователя вплоть до 1,5%.

Увеличение расхода ПО-ЗНП до определенного предела способствует снижению средней плотности смесей. У фибропенобетонов максимальное снижение плотности имеет место в диапазоне концентраций ПО-ЗНП, составляющем 1–1,5%. Дальнейшее насыщение пеносмесей пенообразователем приводит к росту средней плотности.

У фибропенобетонов концентрация пенообразователя «Ареком-4», соответствующая максимальному снижению плотности, находится в диапазоне значений (0,3 – 0,325%) Дальнейшее насыщение фибропеносмесей пенообразователем приводит к росту средней плотности, причем у фибропеносмесей в меньшей (на 20% ниже) степени, чем у пеносмесей без фибрового армирования.

5.27 Рекомендуется в целях экспериментальной корректировки сначала подготовить два состава ячеистофибробетонной смеси с содержанием фибры соответственно $\mu_1 = 0{,}9\mu_o$ и $\mu_2 = 1{,}1\mu_o$, где μ_o – ориентировочный процент фибрового армирования.

При этом подвижность (текучесть) обоих составов должна быть одинаковой и соответствовать требуемой подвижности (текучести).

Соответствующие этому значения водотвердых отношений обозначают $(B/T)_1$ и $(B/T)_2$.

Из полученных смесей формуют образцы (по 6 образцов каждого состава). Для ускорения твердения образцы подвергают тепловой обработке. При этом ЯФБ на стекловолокне марки СЦ6-ПУ можно пропаривать при температуре $t \leq 80$ °С.

Дальнейшее хранение образцов в течении суток осуществляется в нормальных температурно-влажностных условиях, после чего производят их испытание на изгиб.

Определяют значения прочности ЯФБ R'_{fbb} и R''_{fbb} (разрушающее напряжение при изгибе) соответственно составов 1 и 2.

5.28 Уточненные значения μ_f и В/Т определяются исходя из результатов испытаний составов методом интерполяции.

Уточненное значение требуемого процента армирования μ_{fT} определяется по формуле:

$$\mu_{fT} = \mu_1 + \frac{(\mu_2 - \mu_1)\left(R^{o}_{fbb} - R'_{fbb}\right)}{R''_{fbb} - R'_{fbb}}, \qquad (5.11)$$

где R^{o}_{fbb} – проектное значение прочности на изгиб ЯФБ на растяжение при изгибе;

R'_{fbb}, R''_{fbb} – прочности на изгиб ячеистого фибробетона соответственно составов 1 и 2.

С целью снижения значения В/Т при сохранении неоходимой подвижности (текучести) смеси, необходимо использовать пластифицирующие добавки.

Уточненное значение требуемого водотвердого отношения $(B/T)_T$ определяется по формуле:

$$(B/T)_T = \frac{(\mu_{fT} - \mu_1)\left[(B/T)_2 - (B/T)_1\right]}{\mu_2 - \mu_1}. \qquad (5.12)$$

5.29 При подборе составов ЯФБ рекомендуется принимать во внимание оптимальное содержание фибры, обеспечивающее максимальную прочность, минимальные значения усадки и плотности, а также необходимые по технологии реологические свойства ячеистобетонной смеси.

5.30 Рекомендуется с увеличением дисперсного армирования пропорционально увеличивать водотвердое отношение В/Т в целях сохранения реологических характеристик, отвечающих требованиям технологии, так как наряду с возрастанием пластической прочности (устойчивости ячеистобетонной смеси после вспучивания) и плотности ячеистого бетона уменьшается подвижность (текучесть) ячеистобетонной смеси. При этом, следует иметь в виду, что увеличение В/Т снижает интенсивность нарастания пластической прочности сырца, а, следовательно, повышается вероятность просадки массивов после окончания вспучивания.

Для получения необходимой подвижности (текучести по Суттарду) ячеистофибробетонной смеси рекомендуется для каждого значения В/Т принимать соответствующее количество фибры. В частности, для ячеистофибробетонной смеси на известково-песчаном вяжущем с асбестовым волокном (асбеста хризотилового марки К-6-20 и К-6-30 с длиной волокон 0,7–1мм) при В/Т = 0,6 добавку асбестового волокна рекомендуется принимать μ_m = 0,8% от массы сухих компонентов, для В/Т = 0,7 – μ_m = 1,9%, а для В/Т = 0,8 – μ_m = 4,5%.

Для улучшения реологических свойств в целом, с целью оптимального соотношения пластической прочности и плотности (вязкости и подвижности-текучести) ячеистофибробетонной смеси рекомендуется вводить 1–1,5%; 2,5–3% и 4,5–5% асбестового волокна соответственно при В/Т = 0,6; 0,7; 0,8.

5.31 При подборе состава теплоизоляционного ячеистого бетона автоклавного твердения на известковом вяжущем рекомендуется оптимальная дозировка 3–5% асбеста, при которой практически полностью ликвидируются такие явления, как ложное «кипение», просадка массы, образование трещин при схватывании и в процессе автоклавной обработки.

5.32 Рекомендуется принимать оптимальное содержание базальтовой, полипропиленовой и хризотиловой фибр в диапазоне 0,6–0,65% по объему, что обеспечивает максимальные значения прочности фибропенобетона при изгибе и при сжатии. В частности, для базальтовой фибры оптимальный процент фибрового армирования рекомендуется принимать равным $\mu_{оптим}$ = 0,6%, а для полипропиленовой и хризотиловой фибр – $\mu_{оптим}$ = 0,6–0,65%. Для хризотиловой фибры для обеспечения наибольшей прочности при сжатии оптимальный процент можно принимать $\mu_{оптим}$ = 0,8%.

Дальнейшее увеличение содержания фибрового армирования не рекомендуется ввиду снижения прочности и получения дефектной структуры фибропенобетона.

5.33 Рекомендуется в целях снижения усадочных деформаций фибропенобетона оптимальный процент содержания полипропиленовой фибры принимать равным $\mu_{оптим.}$ = 0,2% по объему. Для фибропенобетона с хризотиловой фиброй оптимальный процент ее содержания рекомендуется принимать $\mu_{оптим.}$ = 0,4%. С базальтовыми волокнами можно достичь уменьшения усадочных деформаций при их объемном содержании $\mu_{оптим.}$ = 0,8%. Введение же армирующих волокон в количестве более 0,8% по технологическим причинам не рекомендуется (во избежание разрушения структуры фибропенобетона).

При выборе материала фибр рекомендуется учитывать, что фибропенобетон, армированный высокомодульными волокнами (базальтовая фибра), показывают большую эффективность по снижению усадочных деформаций.

5.34 Усадочные деформации фибропенобетона по данным исследований [23] можно определять по формуле

$$\varepsilon_{фб} = \varepsilon_{б} \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_2, \qquad (5.13)$$

где $\alpha_1 = \dfrac{E_b}{E_б(1-\mu_o)+E_ф \cdot \mu_o}$ характеризует соотношение модуля упругости ячеистого бетона к модулю упругости ЯФБ;

$\varepsilon_{фб}$ – усадочные деформации фибропенобетона, мм/м;

$\varepsilon_{б}$ – усадочные деформации пенобетона, мм/м;

$E_{б}$ – модуль упругости ячеистого бетона, МПа;

$E_{ф}$ – модуль упругости фиброволокна, МПа;

μ_{o} – коэффициент объемного армирования;

$\alpha_2 = (\pi \cdot d \cdot \ell)/F$.

Здесь F – дисперсность армирования, равная $F = \frac{4\mu_o}{d}$. См. формулу (4.2).

Автор работы [23], анализируя зависимость (5.13), констатирует, что при доле объемного армирования менее 0,6%, длине фибр более 20 мм и диаметре более 0,03 мм, расчетная усадка превышает нормативное значение (3 мм/м по ГОСТ 25485).

5.35 Рекомендуется, на основании полученной выше зависимости, в целях получения нормируемых значений расчетной усадки (3 мм/м по ГОСТ 25485), использовать при проценте (доле) объемного армирования до 0,6% волокна не длиннее 20мм и диаметром не более 0,03мм.

Оптимальную длину волокон рекомендуется принимать не более 1мм, обеспечивающую при объемном фибровом армировании $\mu_o \geq 0{,}47\%$ минимальные усадочные деформации.

Рекомендуется использовать фибру с оптимальным диаметром волокон, принимаемым $d_{оптим.} = 0{,}01$ мм, обеспечивающим значительное снижение усадочных деформаций при проценте фибрового армирования $\mu_o \geq 0{,}6\%$.

5.36 Рекомендуется также применять наиболее оптимальный вариант фибрового армирования – полиармирования с комбинацией низкомодульных и высокомодульных армирующих волокон, что обеспечивает в комплексе наименьшие усадочные деформации и одновременно высокую прочность на изгиб. В частности, можно использовать комбинацию из полипропиленовых и базальтовых волокон в количестве 0,2% и 0,4% соответственно.

5.37 Рекомендуется в целях снижения усадочных деформаций при проектировании составов фибропенобетонов вводить в ячеистобетонную смесь оптимальное содержание фиброволокна. Для некоторых волокон оптимальный процент объемного фиброго армирования может быть следующий:

- 0,2% для полипропиленовой фибры по ТУ 5743-001-33181456 (ЗАО «СОТ») в фибропенобетоне марки по плотности D1200;

- 0,8% – для базальтовой фибры по ТУ 5952-036-05328981;

- 0,4% – для хризотил-асбестового волокна (ОАО «НИИпроектасбест», г. Асбест) марок А-6-50, А-5-70 и А-6К-30.

При этом значения усадочных деформаций могут быть снижены до 1,77–1,98 мм/м. По данным [2] усадочные деформации фибропенобетона марки по средней плотности D600 с полипропиленовой фиброй могут быть снижены до 1,6–1,7 мм/м.

Оптимальное количество целлюлозных волокон в автоклавном газобетоне плотностью D400 реомендуется принимать 0,15% от массы сухих компонентов.

5.38 На основании полученной в [23] формулы (5.13), определяющей усадочные деформации фибропенобетона, рекомендуется использовать высокомодульные базальтовые волокна с наименьшими значениями коэффициента α_1 в формуле (5.13), а также короткие и тонкие хризотиловые волокна, отличающиеся бóльшей дисперсностью и, соответственно, меньшим значением коэффициента α_2.

Кроме этого, рекомендуется при коэффициенте фибрового армирования не более 0,6% ($\mu_o \leq 0{,}6\%$) использовать волокна не длиннее 20мм и диаметром не более 0,03мм.

5.39 Дисперсное армирование ЯФБ волокнами асбеста (марки К-6-20) рекомендуется принимать в количестве 1,5–5% от массы сухих компонентов, что уменьшает склонность к трещинообразованию из-за проявления

усадочных деформаций и, соответственно, увеличивает в 1,1–1,4 раза коэффициент трещиностойкости K_{crc}, определяемый по формуле

$$K_{crc} = \frac{R_{bt}^{сух} / R_b^{сух}}{R_{bt}^{вл} / R_b^{вл}} , \qquad (5.14)$$

В формуле (11.1):

$R_{bt}^{сух}$ – прочность на растяжение ЯФБ в сухом состоянии;

$R_{bt}^{вл}$ – прочность на растяжение ЯФБ во влажном состоянии;

$R_b^{сух}$ – прочность на сжатие ЯФБ в сухом состоянии;

$R_b^{вл}$ – прочность на сжатие ЯФБ во влажном состоянии.

5.40 В Приложении 6 (таблица П.6.1) приведены ориентировочные значения содержания (процента) дисперсного армирования различной фиброволокном ячеистого фибробетона.

5.41 Подбор состава ячеистого фибробетона рекомендуется производить с применением методов математического планирования эксперимента. Для получения ячеистого фибробетона с заданными прочностными характеристиками и пониженными усадочными деформациями, рекомендутся с целью оптимизации технологических параметров реализовать стандартный ротатабельный план второго порядка для двух переменных. Исходные примерные уровни варьирования технологических факторов приведены в таблице 5.21.

Таблица 5.21 – Уровни варьирования технологических факторов

Обозначение технологических факторов	Наименование технологических факторов	Единица измерения	Основной уровень	Уровни варьирования технологических факторов				
				–1,41	–1,00	±0,00	+1,0	+1,41
X1	Длина волокон	мм	6,5	1,5	3,0	6,5	10,0	11,5
X2	Содержание волокон	% от массы сухих материалов	1,5	0	0,44	1,50	2,56	3,00

5.42 В качестве критериев оптимизации принимаются: прочность при сжатии, прочность на растяжение при изгибе, усадочные деформации. Переменными факторами могут быть длина волокна фибры X1 и количество волокон X2 в ячеистобетонной смеси.

Технологические параметры должны обеспечивать достаточно высокую трещиностойкость, максимальную прочность ячеистого фибробетона на растяжение и пониженные усадочные деформации.

В качестве примера можно привести результаты статистической обработки экспериментальных данных, полученные в исследованиях, проведенных в НИИЖБе [2]. Полученные математические зависимости прочности (R), усадочных деформации (ε), коэффициента $K_m = R_{bt}/R_b$, характеризующего трещиностойкость ячеистого фибробетона с полипропиленовой фиброй, имели следующий вид:

$$R_b = 27{,}2 - 6{,}74X_1 - 0{,}83X_2 + 2{,}03\,X_1\,X_2 + 3{,}44\,X_1^2 + 3{,}56\,X_2^2;$$

$$\varepsilon = 2{,}55 + 0{,}28X_1 + 0{,}08\,X_2 + 0{,}07\,X_1\,X_2 - 0{,}11\,X_1^2 - 0{,}11\,X_2^2;$$

$$K_m = 0{,}32 + 0{,}042X_1 + 0{,}007\,X_2 + 0{,}03\,X_1\,X_2 - 0{,}03\,X_1^2 + 0{,}02\,X_2^2;$$

Анализ полученных зависимостей показывает, что при подборе состава ячеистобетонной смеси следует учитывть фактор повышения коэффициента трещиностойкости и усадочных деформаций с увеличением длины волокон. Увеличение усадочных деформаций объясняется повышенной водопотребностью смеси для поддержания ее текучести (без применения пластифицрующих добавок).

5.43 После реализации стандартного плана и статистической обработки его результатов определяют технологические параметры (расход фибры, длина волокон, расход вяжущего, В/Т, добавок и т.д.), обеспечивающие получение ячеистого фибробетона заданной плотности и максимальной прочности.

Технологические параметры (содержание фибры, В/Т, соотношение между кремнеземистым компонентом и вяжущим) изготовление изделий из

ячеистого фибробетона должны обеспечивать высокую трещиностойкость и пониженные усадочные деформации.

5.44 В Приложении 7 (таблицах П7.1 – П.7.17) приведены опытные и рекомендуемые составы фибропенобетонных и фиброгазобетонных смесей для ячеистого фибропенобетона и фиброгазобетона неавтоклавного и автоклавного твердения.

6 ПОДГОТОВКА СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПРИГОТОВЛЕНИЕ ЯЧЕИСТОФИБРОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

6.1 Вопросы подготовки сырьевых материалов и приготовления ячеистых смесей без дисперсного армирования достаточно подробно изложены в «Рекомендациях по изготовлению и применению изделий из неавтоклавного ячеистого бетона» НИИЖБ, М.: –1986, и в «Инструкции по изготовлению изделий из ячеистого бетона» СН277-80.

В соответствие с «Рекомендациями по изготовлению и применению изделий из неавтоклавного ячеистого бетона» сырьевые смеси для крупноразмерных изделий рекомендуется готовить на заполнителях с рациональной гранулометрией, обеспечивающей максимальную упаковку твердых частиц или с пониженным В/Т. При этом в зависимости от марки по средней плотности содержание немолотого или грубомолотого кремнеземистого компонента (от общего их количества) рекомендуется в пределах 30–80%, а тонкомолотого – 70–20%.

Помол компонентов рекомендуется проводить в шаровых мельницах или дезинтеграторах (мокрым способом). Тонкость помола компонентов рекомендуется принимать в соответствии с таблицей 6.1.

Таблица 6.1 – Рекомендуемая тонкость помола кремнеземистого компонента

Средняя плотность бетона, кг/м^3	Удельная поверхность кремнеземистого компонента, см^2/г
400	2000-3000
700	800-1800
800	600-1500
900	500-1300
1000	400-1000
1100	300-600
1200	Немолотый

Примечания: 1. Кремнеземистый компонент с максимальными значениями удельной поверхности рекомендуется применять для изготовления мелкозернистых изделий.

2. Песок с высокой удельной поверхностью (свыше 1500см^2/г) рекомендуется готовить в шаровых мельницах с применением мокрого помола; средняя плотность шлама при этом должна быть 1,5–1,7 кг/л.

Дозирование вяжущего и кремнеземистого компонента рекомендуется производить по массе с точностью +1% для вяжущего и +2% для кремнеземистого компонента.

6.2 В процессе приготовления ячеистофибробетонной смеси необходимо учитывать, что в технологии изготовления фибробетонов вопросы приготовления смесей занимают первостепеннное место. Основной принцип этой технологии состоит в том, чтобы обеспечить равномерное распределение армирующих волокон по объему с образованием ими пространственного каркаса, размер ячеек которого определяется геометрическими характеристиками фибр и их объемной концентрацией.

6.3 Для приготовление ячеистофибробетонных смесей при изготовлении неавтоклавных фибропенобетонов можно рекомендовать следующие технологии:

- двухстадийная, которая предусматривает перемешивание отдельно приготовленных раствора и пены заданной кратности;

- одностадийная, основанная на турбулентном перемешивании цементно-песчаного раствора (немолотые пески) и пенообразователя в высокоскоростном смесителе (ГУП НИИЖБ) или путем турбулентно-кавитационного перемешивания в сочетании с аэрированием (ЗАО «Фибробетон»);

- одностадийная, которая включает приготовление пенобетонной смеси в герметичном смесителе под давлением с последующей ее транспортировкой к месту укладки.

6.4 Основными агрегатами на технологической линии по производству пенобетона является пенобетоносмеситель и пеногенератор. Пеногенератор установки используется для приготовления пены из белкового

пенообразователя. Рекомендуется применять пеногенераторы марок ВП-5М и ВП-5, прошедшие испытания в НИИЖБе.

6.5 Рекомендуется приготавливать ячеистофибробетонную смесь в смесителях нового типа, либо в существующих серийно выпускаемых аппаратах. В частности, приготовление фибробетона со стекловолокном целесообразно производить в спирально-вихревых, спирально-шнековых высокооборотных смесителях (например, в гидродинамическом смесителе конструкции НИИСиликатбетона). Приготовление фибропенобетона с фиброй из рубленого базальтового волокна, хризотил асбеста и полипропиленового волокна (типа «Фибрин» и др.) рекомендуется производить в турбулентных смесителях с принудительным смешиванием материалов при больших окружных скоростях движения рабочих органов. В частности, для изготовления ячеистого фибробетона, армированного полимерными волокнами, рекомендуется применять серийно выпускаемый турбулентный смеситель СБ-133 Новосибирского завода строительных машин, а также смесители СБ-43А, СБ-108 с частотой вращения ротора 550 и 520 об/мин соответственно.

6.6 Рекомендуется производить фибропенобетонную смесь (армированную полиамидным волокном) методом гидродинамической кавитации (турбулентно-кавитационным способом), который способствует формированию мелкодисперсной пористости (диаметр пор менее 0,8 мм) и тонких стенок воздушных пузырьков, что, в свою очередь, позволяет увеличить термическое сопротивление и снизить предельное водонасыщение.

Применение метода гидродинамической кавитации позволяет получить фибробетонную смесь без применения пеногенератора и компрессора. Оборудование состоит из передвижного кавитационно-роторного смесителя (производительностью 0,1м^3 фибробетонной смеси за 1 цикл длительностью 5-6 минут), который способствует равномерному распределению пузырьков воздуха по объему смеси. Пузырьки стабилизируются пенообразователем и

армируются частицами цемента и песка. Осадка смеси практически отсутствует благодаря высокой устойчивости смеси и «несжимаемости» пузырьков из-за наличия в них избыточного давления.

6.7 Для изготовления фибропенобетонной смеси рекомендуется также применять технологию и ассортимент оборудования «Торнадо». Смесители по этой технологии комплектуются специальными запатентованными роторами, обеспечивающими, одновременно с поризацией, измельчение твердых частиц раствора и равномерное распределение минеральных или синтетических волокон. Измельченные компоненты позволяют сформировать достаточно мелкие закрытые пузырьки с замкнутыми тонкостенными оболочками.

6.8 Основное отличие технологии изготовления фибробетонов от технологии обычного ячеистого бетона без дисперсного армирования заключается в последовательности добавления в процессе замешивания армирующего элемента – фиброволокна. В связи с этим, в первую очередь рекомендуется определить способ и последовательность введения фибры в формовочную смесь, так как именно на этой стадии происходит армирование бетона волокнами, равномерность и однородность распределения которых закладывает основы для получения ячеистого бетона с улучшенными свойствами. При этом существует несколько способов введения фибры и приготовления ячеистобетонной смеси:

- добавление фиброволокна предварительно в сухую смесь;
- добавление фиброволокна в процессе замешивания раствора непосредственно в пенобетонную смесь;
- добавление волокна предварительно в воду затворения.

В первом случае для определенного типа фибры удается получить более равномерное распределение волокон. При этом волокна добавляют порциями в сухую смесь из цемента и песка и перемешивают. В дальнейшем в полученный состав добавляется вода и происходит его смешивание в бетоносмесителе.

Во втором случае волокна добавляются в бетоносмеситель во время приготовления ячеистобетонного раствора. Засыпают небольшими порциями, следя за равномерным их распределением в составе. Время замеса при этом увеличивается почти вдвое. И в первом и во втором случаях необходимо периодически проверять раствор на качество.

6.9 Для однородного распределения различных волокон фибры в формовочной ячеистобетонной смеси могут быть рекомендованы следующие схемы ее введения:

Схема 1. Волокна вводятся непосредственно в свежеприготовленную формовочную смесь, а затем производится дополнительное совместное перемешивание.

Схема 2. Введение волокон осуществляется в воду затворения совместно с сухими компонентами.

Схема 3. Волокна вводятся в воду затворения при повышенной температуре (от 20 до 100 °С) и интенсивно обрабатываются в течение 10–20 мин, а затем дозируются сухие компоненты.

6.10 Для цементостойкого стекловолокна рекомендуется совместное введение волокна и сухих компонентов (схема 2), которая является для данного волокна наилучшей схемой. Введение же цементостойкого стекловолокна по схеме 3 приводит к их сплетению, комкованию и неоднородному распределению волокон в формовочной смеси.

Однородное распределение цементостойкого стекловолокна в формовочной смеси можно осуществить только в скоростных смесителях с интенсивным перемешиванием в гидродинамическом смесителе конструкции НИПИСиликатбетона. При этом перемешивание следует производить за минимально возможный промежуток времени (во избежание значительного измельчения волокон), которое для каждого смесителя (в зависимости от его конструктивных особенностей) следует определять индивидуально.

6.11 Рекомендуется в соответствии с п. 6.9 стекловолокно вводить в гидродинамический смеситель конструкции НИПИСиликатбетона совместно

с сухими материалами (по схеме 2) в виде прядей длиной 30мм и перемешивать в течение 2–2,5 мин. За этот период времени должна достигаться оптимальная однородность формовочной смеси, а волокна измельчаются до величины 5–25 мм (средний размер волокон находился в пределах 10–15 мм).

6.12 В соответствии с (патент (RU) RU 2 568 207 C1) в процессе приготовления ячеистой фибробетонной смеси для изготовления фибропенобетона с дисперсным армированием стеклянной фиброй можно рекомендовать следующую последовательность загрузки компонентов:

- предварительно в сухую смесь связующего и кварцевого песка вводятся однотипные по составу микроармирующие стеклянные волокна и полые стеклянные микросферы диаметром 20–160 мкм с перемешиванием до однородного состояния;

- готовится водный раствор (при нормальной температуре) с пластифицирующей добавкой для повышения реакционной способности смеси;

- приготовленный водный раствор с суперпластификатором перемешивается с сухими компонентами, а затем вводится пена.

Вводимый в ячеистую фибропенобетонную смесь тонкодисперсный порошок стеклянных микросфер характеризуется повышенной водопотребностью, что непосредственно влияет на увеличение водотвердого отношения смеси и, соответственно, приведет к снижению прочностных характеристик. В связи с этим, для сохранения заданного водотвердого отношения расход подобранного суперпластификатора должен корректироваться таким образом, чтобы количество воды затворения оставалось постоянным независимо от дозировки полых стеклянных микросфер.

6.13 В процессе изготовления фибропенобетона (Патент РФ № 2123484) пена готовится в скоростном смесителе в течение 3 минут при частоте вращения вала 150-160 об/мин., шлакощелочное вяжущее (молотый

шлак + жидкое стекло) готовится при перемешивании в течение 1–1,5 мин, после чего готовая пена подается в раствор и полученная смесь перемешивается в течение 2,5 мин при частоте вращения вала 100-110 об/мин. Стекловолокно в виде отрезков длиной 2–3 см вводится в процессе перемешивания смеси. Готовая смесь выливается в формы-кассеты и остается вызревать в течение 6 часов.

6.14 Углеродное волокно FibARM Fiber C вводится в смеситель в последнюю очередь или перед добавлением воды с последующим перемешиванием около 2х мин. для достижения полной однородности раствора. Волокно можно вводить вместе с сухими компонентами.

6.15 Полипропиленовое волокно «ВСМ-Бетон» из термопластичных полимеров по ТУ 2272-006-1349727-2013 может перемешиваться в любом типе смесителей (гравитационного или принудительного действия), то есть, хорошего диспергирования волокон при соответствующем отсутствии их комкования можно достичь в смесителях как гравитационного, так и принудительного действия. ВСМ волокно может вводиться как непосредственно после добавления воды, так и в сухую смесь перед добавлением воды. При этом для более качественного распределения фиброволокон фибру во время перемешивания рекомендуется засыпать в бетоносмеситель (миксер) частями (небольшими порциями). Рекомендуемая продолжительность перемешивания ячеистобетонных смесей увеличивается на 10–20% для получения смеси бетона, в котором отдельные элементарные волокна должны быть распределены гомогенно. Время перемешивания может составлять около 15 минут.

При введении волокон ВСМ в ячеистобетонную смесь удобоукладываемость смеси не падает, так как увеличивается ее эластичность, пластичность и гомогенность, в связи с чем, не требуется дополнительного введения воды затворения.

6.16 Рекомендуется для некоторых видов неметаллических волокон производить предварительную распушку для разделения отрезков

комплексных нитей на элементарные волокна в целях их более равномерного и однородного распределения в ячеистобетонной смеси. В результате распушки появляется возможность уменьшения длины волокон или их содержания, что значительно облегчает процесс приготовления смеси. Распушка волокон (при степени распушки в пределах 80–100%) заключает в себе потенциальные возможности улучшения свойств (например, трещиностойкости) ячеистого фибробетона, которые должны быть реализованы в процессе приготовления смеси.

6.17 При добавлении в ячеистобетонную смесь асбеста его необходимо предварительно распушить в смесителе. Предварительная распушка асбестового волокна в водной среде при повышенной температуре перед дозировкой сухих компонентов (схема 3) обеспечивает его наилучшую однородность распределения в ячеистобетонной смеси. Распушку рекомендуется производить в скоростном гидродинамическом смесителе, который должен промываться после каждой рабочей смены и при длительных перерывах в работе. При этом асбестовое волокно помещается в воду с температурой 80±5 °С и интенсивно перемешивается в течение 15–20 мин. После распушки асбесто-водная пульпа подается в гидродинамический смеситель конструкции НИПИСиликатбетона, куда также дозируются вода, вяжущее, а затем, спустя 2,5–3 мин. – алюминиевая пудра. Далее газобетонная смесь перемешивается дополнительно с алюминиевой пудрой в течение одной минуты и заливается в формы.

6.18 Однородность распределения волокон в формовочной смеси рекомендуется определять согласно п. 9.9 настоящих Рекомендаций. Однородность распределения асбестовых волокон допускается определять визуально. При этом смесь из гидродинамического смесителя выливается в емкость с размерами дна 50×100см и растекается тонким слоем, что позволяет обнаружить наличие неоднородностей, комков и сплетений. Расплыв смеси, определенный на приборе Суттарда, во всех случаях должен быть в пределах 24–26см.

6.19 В соответствии с (Патент RU (11) 2226517 (13) C2 137) для изготовления фибропенобетона (В/Т = 0,25–0,60) неавтоклавного твердения с полиамидной фиброй можно рекомендовать следующую последовательность загрузки компонентов фибропенобетонной смеси:

- сначала в смеситель подают воду и 40–60% поверхностно-активного вещества ПАВ (сульфонат порошок или лаурилсульфат натрия) и перемешивают в течение 0,5–1 мин;

- затем в смеситель подают кремнеземистый компонент и полиамидные волокна и продолжают перемешивать еще 2,5–4,0 мин, после чего вводят цемент и пластификатор и перемешивают 1,5–3 мин;

- в полученную смесь вводят оставшуюся часть ПАВ и стабилизатор – алюминат натрия, и перемешивают до полной поризации в течение 0,5–4 мин.

По такой схеме введение полиамидных волокон совместно с кремнеземистым компонентом и перемешивание в течение 2,5–4 мин. обеспечивает их равномерное распределение и исключает процесс агрегации, а также обеспечивает возможность транспортировки и укладки смеси при минимальных усадочных деформациях.

6.20 Рекомендуется в соответствии с патентом РФ№2206544 фибру (полиамидную, параполиамидную, базальтовую, полипропиленовую, из стекловолокна, из винола) вводить в последнюю очередь в процессе перемешивания смеси в смесителе турбулентного типа (емкостью 200 л, оснащенный ротором с 2 типами винтов) после последовательного введения воды, связующего, добавки, заполнителя, и порообразователя. При этом время перемешивания компонентов после введения дисперсной арматуры должно быть не менее 0,5 мин и не более 6 мин.

Рекомендуется также способ приготовления фибропенобетонной смеси осуществлять путем смешивания минерального вяжущего с волокном и водным раствором пенообразователя, при котором сначала производится

смешение вяжущего с 0,55–1,82% фиброволокна, а затем вводится остальное волокно с водным раствором пенообразователя.

6.21. В случае, если при приготовлении сырьевой смеси (с полимерным микроармирующим волокном (ВСМ) диаметром 20–50мкм, длиной 3–18 мм или базальтовым волокном диаметром 13–17 мкм, длиной 6–12 мм) используется модифицирующая добавка в виде многослойных углеродных нанотрубк диаметром 8–40 мм, длиной 2–50 мкм, а также суперпластификатор (патент РФ №2422408), то рекомендуется производить предварительную обработку суперпластификатора с водой и нанотрубками в течение 30–60 секунд в ультразвуковом диспергаторе с частотой 20 кГц, а затем осуществлять перемешивание полученной суспензии с портландцементом, заполнителем, пенообразователем и фиброволокном в течение 5–6 мин.

6.22 При изготовлении ячеистобетонной смеси с базальтовой микрофиброй модифицированной (МБМ) может быть использован смеситель принудительного действия, при этом микрофибра добавляется в сухую смесь непосредственно перед добавлением жидких компонентов. Время перемешивания – не менее 10 мин. Рубленое волокно также сначала смешивается с сухими компонентами, а затем добавляется вода в количестве, необходимом для получения теста нормальной густоты.

6.23 В соответствии с работой [6] рекомендуются три схемы последовательности загрузки материалов, а также способов и режимов перемешивания при приготовлении базальто-фибробетонных смесей:

- первая схема – введение базальтового волокна в сухую смесь цемента, песка, добавки, до получения однородной смеси сухих компонентов и последующее затворение их водой;

- вторая схема – введение базальтового волокна в предварительно приготовленную цементную суспензию с последующим введением песка;

- третья схема – введение базальтового волокна в предварительно приготовленную смесь.

Для конкретного случая (при диаметре волокон 11–13мкм и оптимальной их длины 15 мм) рекомендуется 3-я схема перемешивания, позволяющая получать при прочих равных условиях более качественное распределение волокна, а также сократить цикл приготовления смеси по сравнению с 1-й и 2-й схемами. По третьей схеме перемешивания в базальтофибробетонной смеси с добавкой МБ-10-01 большая часть пучков волокон распадается на элементарные волокна, в отличие от смеси без добавки МБ-10-01, приготовленной по 1-й и 2-й схемам, в которой после перемешивания наряду с отдельными волокнами остаются не распавшиеся пучки.

6.24 Добавку волластонита в ячеистый фибробетон рекомендуется подавать в смеситель сразу после цемента. Рекомендутся применять бетоносмеситель принудительного действия лоткового типа с горизонтальным валом. Весь цикл перемешивания сырьевой смеси может составлять 3–4 мин.

6.25 В процессе приготовления ячеистофибробетонной смеси содержание волокон не должно превышать рассчитанный оптимальный уровень во избежание их комкования.

6.26 Рекомендуется при введении в состав сырьевой смеси фибры из стекловолокна принимать оптимальную длину волокон в пределах от 15 до 40 мм. Применение волокон более 40 мм не рекомендуется, так как не позволяет качественно перемешать смесь за счет образования несмешиваемых с остальной массой участков, состоящих из спутанных волоконных прядей, что, в свою очередь, не дает возможности получить качественный ячеистый фибробетон.

6.27 В таблице 6.2 приведены рекомендуемые режимы продолжительности перемешивания смеси фибропенобетона для различных плотностей.

Таблица 6.2 – Рекомендуемое время продолжительности перемешивания смеси теплоизоляционного фибропенобетона

Наименование технологических факторов	Наименование показателей	Единица измерения	Рекомендуемые величины	
			D 350	D 600
Приготовление смеси	Продолжительность перемешивания: воды, песка, вяжущего, химических и волокнистых (асбестовых, стеклянных) добавок	Мин	5–8	4–7

7 ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ЯЧЕИСТОГО ФИБРОБЕТОНА

7.1 Вопросы формования изделий из ячеистого бетона без дисперсного армирования достаточно подробно изложены в «Рекомендациях по изготовлению и применению изделий из неавтоклавного ячеистого бетона» НИИЖБ, М -1986г. и в «Инструкции по изготовлению изделий из ячеистого бетона» СН277-80.

В соответствие с указанными «Рекомендациями» при формовании изделий необходимо осуществлять следующие технологические операции:

- подача ячеистобетонной смеси в формы;

- вспучивание ячеистобетонной смеси (в сопровождении вибрации или без нее);

- выдержка отформованной массы до приобретения необходимой пластической прочности;

- срезка «горбушки» и прикатка поверхности в крупноразмерных изделиях или разрезка крупных массивов на блоки с помощью резательных машин;

- подача изделий на тепловую обработку.

7.2 Изделия из ячеистого фибробетона (мелкие стеновые блоки, теплоизоляционные плиты и др.) рекомендуется изготовлять по литьевой или вибрационной технологиям, а крупноразмерные армированные конструкции – по вибрационной технологии. Формование изделий из дисперсно армированного теплоизоляционного газосиликата рекомендуется производить по литьевой технологии.

7.3 Вибровспучивание пластичных ячеистобетонных смесей (с расплывом по Суттарду 9-13 см) рекомендуется производить на стандартных виброплощадках с вертикальными или горизонтальными колебаниями согласно «Инструкции по изготовлению изделий из автоклавного ячеистого бетона по комплексной вибрационной технологии» (М.: Стройиздат, 1975).

Вибровспучивание ячеистобетонных смесей с повышенной жесткостью (с погружением конуса СтройЦНИЛ 3–5 см) рекомендуется производить на стандартных виброплощадках с вертикальными колебаниями, с применением прерывистого режима вибрирования. После заливки ячеистобетонную смесь рекомендуется вибрировать по 10–15 с с промежутками через 2,5–3 мин. Весь период повторных вибровоздействий должен составлять 20–25 мин.

7.4 Стальные формы для производства изделий или крупных массивов должны удовлетворять требованиям ГОСТ 18886 и других действующих стандартов на стальные формы.

7.5 После вспучивания смеси формы следует выдерживать при температуре не ниже 15 °С до приобретения требуемой пластической прочности бетона-сырца. Для ускорения схватывания ячеистофибробетонную смесь рекомендуется обогревать (при t = 40–50 °С). Контроль нарастания пластической прочности рекомендуется определять с помощью пластометра НИИсиликатобетона по ОСТ 21-43-80, а также с помощью переносного конического пластометра пружинного типа и непружинного типа согласно Приложения 2 СН277-80. Описание пластометра непружинного типа и правила пользования приведены в «Инструкции по изготовлению изделий из ячеистого автоклавного бетона по комплексной вибрационной технологии».

7.6 Формы, залитые фибропенобетонной смесью, рекомендуется выдерживать в цехе перед тепловой обработкой не менее 6 ч. Поверхность фибропенобетонных изделий во время выдержки рекомендуется предохранять от интенсивного испарения влаги, например, полиэтиленовой пленкой.

7.7 Образовавшуюся после вспучивания ячеистофибробетонной смеси «горбушку» рекомендуется срезать при пластической прочности бетона-сырца 0,015-0,02 МПа. После срезки «горбушки» и прикатки на поверхности изделия не должна выступать влага.

7.8 Рекомендуется для получения качественной макроструктуры ячеистого фибробетона бетона при формовании синхронизировать процессы вспучивания и схватывания ячеистобетонной смеси. Следует определить оптимальные условия формований ячеистобетонной смеси с фиброволокном, которые позволят сохранить реологические характеристики смеси, отвечающие требованиям технологии.

7.9 При определении оптимальных условий формований ячеистобетонной смеси с фиброволокном необходимо учитывать два фактора. С одной стороны, введение фиброволокна способствует значительному повышению пластической прочности, вязкости и устойчивости ячеистобетонной смеси после вспучивания. При содержании фибры более 1% по массе, волокна сдерживают осадку смеси, сохраняя ее устойчивость до начала формирования минераловолокнистой структуры фибробетона. При дозировке 3–5% асбестового волокна практически полностью ликвидируются такие явления, как ложное «кипение», просадка массы, образование трещин при схватывании и в процессе автоклавной обработки. С другой стороны, введение фиброволокна приводит к повышению водопотребности формовочной смеси. При этом наибольшей водопотребностью характеризуются смеси с добавкой асбеста, в меньшей степени – смеси с добавкой цементностойкого стекловолокна и полимерных волокон. В этом случае реологические характеристики (необходимую подвижность-текучесть) смеси без введения пластифицирующих добавок можно сохранить пропорциональным ростом водотвердого отношения В/Т. Например, для сохранения подвижности (текучести) смеси, равной на приборе Суттарда 24см, при введении 4,5% асбеста от массы сухих компонентов, В/Т необходимо повысить с 0,45 до 0,75–0,8. Увеличение В/Т снижает интенсивность нарастания пластической прочности сырца, а, следовательно, повышается вероятность просадки массивов после окончания вспучивания. Для устранения данного эффекта рекомендуется повышать температуру воды затворения.

7.10 Рекомендуется для обеспечения необходимых реологических характеристик (требуемой текучести и пластической прочности) ячеистофибробетонной смеси оптимальную величину фибрового армирования определять для каждого значения В/Т. Например, оптимальное содержание асбестового волокна рекомендуется принимать μ_m = 1–1,5% (от массы сухих компонентов) при В/Т = 0,6, μ_m = 2,5–3% при В/Т = 0,7 и μ_m = 4,5–5% при В/Т = 0,8.

7.11 Рекомендуется реологические свойства (вязкость, текучесть) смесей с добавкой асбестового волокна регулировать введением пластифицирующих добавок, способных существенно понизить поверхностное натяжение на границе раздела фаз.

7.12 Допускается количественное содержание стекловолокна увеличивать до 8% от массы сухих компонентов при сохранении консистенции ячеистофибробетонной смеси в диапазоне изменения В/Т от 0,45 до 0,58 без введения пластифицирующих добавок.

7.13 Допускается формование теплоизоляционных изделий из ячеистого фибробетона плотностью смеси $\gamma_{см} \leq 700$ кг/м^3 с полимерной фиброй производить литьевым способом без использования пластифицирующих добавок, так как для таких смесей эффект повышения структурной вязкости в результате введения волокон заметно снижается и значительного повышения водотвердого отношения не требуется.

7.14 Рекомендуется в целях сохранения устойчивости ячеистофибробетонной смеси и ее реологических характеристик использовать стекловолокно оптимальной длины от 15 до 40 мм.

7.15 Рекомендуется при формовании ячеистофибробетонной смеси применять технологию турбулентно-кавитационного способа с перестальтическим насосом, который позволяет подавать эту смесь до 60 м в высоту и 150 м по горизонтали и позволяют заливать фибробетонной смесью за 1 раз на высоту до 3 м без потери качества смеси.

7.16 В таблице 7.1 приведены рекомендуемые режимы формования смеси теплоизоляционного фибропенобетона различной плотности.

Таблица 7.1 – Рекомендуемые режимы формования смеси теплоизоляционного фибропенобетона плотностей D350, D600 с асбестовы и стеклянным волокном

Наименование технологичес-ких факторов	Наименование показателей	Единица измерения	Рекомендуемые величины	
			D 350	D 600
Формование	Пластичность смеси (по конусу) Плотность Температура смеси	мм кг/м^3 °С	32–38 430-440 25±5 °С	32–34 700–720 25±5 °С
Выдерживание сырца до распалубки	Продолжитель-ность выдерживания Продолжи-тельность выдерживания	°С час	40±5 °С 2,5–3	40±5 °С 2,5–3

7.17 В таблице 7.2 приведены рекомендуемые значения пластичности (вязкости) смеси по конусу для фибропенозолобетона марки по плотности D700-D750 по данным [19].

Таблица 7.2 – Пластичность (вязкость) смеси по глубине погружения конуса СтройЦНИЛфибропенозолобетона плотности D700-D750

В/Т	Количество С-3, в% Ц	Отношение цемент:зола	Кол-во полимерной фибры μ,% мас.	Средняя плотность, кг/м^3	Глубина погружения конуса СтройЦНИЛ, см
0,7	0	1 : 1,25	0,5	730	16,2
			1,0	720	15,1
	0,5		0,5	715	17,0
			1,0	705	16,5
0,5	0		0,5	755	14,3
			1,0	740	13,1
	0,5		0,5	720	16,6
			1,0	705	15,8

7.18 Заливку ячеистофибробетонной смеси рекомендуется производить с высоты не более 60см за один прием на требуемую высоту формы. Высоту заливки можно определять по формуле

$$H = K_{\Gamma} \cdot h \frac{\gamma_m^{я}}{\gamma_m^{р}}, \qquad (7.1)$$

где K_{Γ} – коэффициент, учитывающий высоту "горбушки" после вспучивания, равен 1,1;

h – высота формы, см;

$\gamma_m^{я}$, $\gamma_m^{р}$ – средняя плотность соответственно ячеистобетонной и растворной смеси, кг/м^3.

8 ТЕПЛОВАЯ ОБРАБОТКА ИЗДЕЛИЙ ИЗ ЯЧЕИСТОГО ФИБРОБЕТОНА

8.1. Для твердения отформованных изделий рекомендуется применять пропаривание, а также обогрев горячими газами. Обогрев с помощью электронагревателей в туннельных и щелевых камерах рекомендуется осуществлять по режиму, обеспечивающему совмещение процессов твердения и сушки изделий.

8.2 В таблице 8.1 приведены рекомендуемые режимы тепловлажностной обработки теплоизоляционного фибропенобетона плотностей D350, D600 с асбестовы и стеклянным волокном.

Таблица 8.1 – Рекомендуемые режимы тепловлажностной обработки теплоизоляционного фибропенобетона плотностей D350, D600 с асбестовым и стеклянным волокном

Наименование технологических факторов	Наименование показателей	Ед-ца измерения	Рекомендуемые величины	
			D350	D600
Установка изделий на тепло-влажностную обработку	Пластическая прочность сырца	МПа	0,05–0,06	0,06–0,08
Тепловлажностная обработка изделий	Подъем температуры до 85 °С	час	3	3
	Изотермическая выдержка изделий при 85 °С	час	14	14
	Спуск до температуры 40 °С	час	3	3
	Выдержка при открытой крышке	час	0,5	0,5

8.3 Тепловлажностную обработку (ТВО) изделий из автоклавного ячеистого фибробетона (с добавкой асбестовых волокон) рекомендуется производить в промышленном автоклаве при избыточном давлении 0,9МПа по режиму 3+8+4 часа.

8.4 Изделия из автоклавного ячеистого фибробетона с целлюлозной фиброй, после набора пластической прочности 0,5 МПа пропариваются в автоклаве при температуре 175±5 °С и давлении 0,8±0,05 МПа.

8.5 Автоклавную обработку заформованных массивов автоклавного ячеистого фибробетона с добавкой волластонита можно осуществлять по следующему режиму: подъем давления до 0,8–1,0 МПа (3–4 часа), выдержка при давлении 0,8–1,0 МПа (7–8 часов) и спуск давления в течение 4 часов. Общий цикл запаривания составляет 15–16 часов.

8.6 Твердение в формах изделий из фибропенозолобетона марки по плотности D800 может происходить в условиях пропаривания при температуре изотермической выдержки 80 °С по режиму (в часах): 3 + 6 + естественное охлаждение в закрытой камере.

8.7 В процессе изготовления дисперсно армированного ячеистого бетона (Патент РФ № 2123484) изделия после срезания «горбушки» подвергаются пропариванию при атмосферном давлении по режиму 2 + 3 + 6 + 2 ч при температуре изотермического прогрева 85±5 °С. При изготовлении фибропенобетона смесь в опалубочных формах подвергается пропариванию при температуре изотермического прогрева 85±5 °С по режиму 3 + 6 + 2 ч.

8.8 При производстве ячеистофибробетонных изделий рекомендуется сокращать время твердения без снижения их качества, так как этот процесс занимает до 90% от времени всего производственного цикла, а предварительная выдержка является довольно продолжительной стадией, необходимой для обеспечения определенной структурной прочности ячеистого фибробетона.

8.9 Рекомендуется в целях ускорения твердения ячеистого фибробетона применять разогрев смеси, в том числе путем затворения горячей водой. При этом эффект от использования горячей воды может быть усилен выдерживанием отформованных изделий до начала тепловой обработки в камерах микроклимата с параметрами окружающей среды, соответствующими температуре смеси.

8.10 Рекомендуется осуществлять следующие оптимальные условия процесса твердения фибропенобетона при его интенсификации [19]:

а) затворение смеси водой с температурой 60 °С;

б) выдерживание отформованных изделий до начала тепловой обработки при температуре окружающей среды 40 °С;

в) сокращение предварительной выдержки до 4 ч;

г) применение мягких режимов пропаривания при скорости подъема температуры в камере, равной 10°С/ч.

8.11 Рекомендуется в целях снижения отпускной влажности ячеистого фибробетона до нормируемых значений применять комбинированный (двухстадийный) режим (ТВО), согласно которому на первой стадии осуществляется обработка твердеющего фибропенобетона паром, а на второй – разогретым до 110 °С сухим воздухом. Комбинированный прогрев является целесообразным технологическим приемом, позволяющим получать ячеистый фибробетон с высокой прочностью и пониженной влажностью, что предопределяет низкие значения усадки и, следовательно, высокую долговечность изделий в период эксплуатации.

8.12 Допускается изделия из теплоизоляционно-конструкционного фибропенозолобетона марки по плотности D800 изготавливать без тепловой обработки в условиях естественного твердении в 28-суточном возрасте, а также в условиях повышенной влажности с последующим высушиванием до постоянной массы.

8.13 Конечная влажность в изделиях на песке не должна превышать 10% (по массе), а на золе – 18%. Тепловая обработка не должна приводить к появлению трещин на открытых поверхностях изделий.

8.14 Тепловую обработку изделий можно осуществлять также в продуктах сгорании газа. Режим обработки устанавливается опытным путем из условия получения изделий требуемого качества.

9 КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ, ЯЧЕИСТОФИБРО- БЕТОННОЙ СМЕСИ И ИЗДЕЛИЙ

9.1 Неавтоклавный и автоклавный армированный фиброй ячеистый бетон должен отвечать требованиям соответственно ГОСТ 25485 и ГОСТ 31359-2007.

9.2 Изделия из армированного фиброй ячеистого бетона должны удовлетворять требованиям соответствующих стандартов и рабочих чертежей.

9.3 Испытания армированного фиброй НЯБ и АЯБ должны производиться по ГОСТ 10180, ГОСТ 12730.1, ГОСТ 25485, ГОСТ 7076, ГОСТ 12730.2, ГОСТ 25898, ГОСТ 31359-2007.

9.4 Контроль качества сырьевых материалов, ячеистофибробетонной смеси и изделий рекомендуется производить в соответствии с Инструкцией СН 277-80.

9.5 Контроль качества сырьевых материалов должен осуществляться лабораторией предприятия. Поступающие на предприятие материалы принимаются партиями и проверяются по соответствующим стандартам, техническим условиям и другой нормативной документации.

Контроль пенообразователей определяют в соответствии с п. 9.6.

9.6 Контроль кратности и стабильности пены осуществляют с помощью сосуда, изготовленного из прозрачного материала (оргстекла) с отверстиями в днище. Сосуд имеет размеры: диаметр 9,9 см, высота 13 см, объем 1 л. Отверстия в количестве 13 шт. равномерно распределены по днищу сосуда и имеют диаметр 0,3 см.

После приготовления пена помешается в сосуд и взвешивается.

Кратность пены *Кп* определяется по соотношению средней плотности пенообразователя ρ_m^{on} и средней плотности пены ρ_m^{n} полученной после приготовления

$$K_n = \rho_m^{on} / \rho_m^{n}. \qquad (9.1)$$

Стабильность (устойчивость) пены С определяется по разности между 100% и водоотделением В у пены, которое происходит за 15 мин. ее выдержки в сосуде с отверстиями в днище

$$С = 100\% – В. \quad (9.2)$$

Водоотделение пены определяется по количеству жидкости, выделившейся из пены в течение одного часа (в% к исходному количеству взятого для испытания раствора пенообразователя) и вычисляется по разнице между первоначальной $М_н$ и конечной $М_к$ массой пены после 15 мин до 1 часа выдержки), отнесенная к первоначальной массе пены и умноженная на 100%

$$В = (М_н – М_к)/ М_н \cdot 100\%. \quad (9.3)$$

Стойкость пены в растворе смеси определяется путем смешивания вручную в течение 1мин 1л пены и 1л непоризованной растворной смеси.

Коэффициент стойкости вычисляется по следующей формуле:

$$К_{сп} = V_{пр}/(V_р + V_п), \quad (9.4)$$

где $V_{пр}$ – объем поризованной растворной смеси, полученной после смешивания, мл;

$V_р$ – объем непоризованной растворной смеси,мл;

$V_п$ – объем пены, мл.

9.7 Каждая новая партия фибры, поступившая на производство, проверяется на соответствие паспортным данным завода-изготовителя.

9.8 При контроле производственных процессов лаборатории рекомендуется проверять:

- однородность распределения фиброволокна в формовочной смеси (по п. 9.9);

- дисперсность материалов, подвергнутых помолу (на приборе АДП-3 или ПСХ);

- температуру воды затворения;

- тщательность очистки и смазки форм;

- текучесть ячеистофибробетонной смеси на приборе Суттарда или подвижность смеси с помощью конуса СтройЦНИЛ;

- среднюю плотность фибропено-газобетонной смеси;

- температуру смеси при заливке, а также при схватывании;

- высоту вспучивания смеси в форме;

- пластическую прочность бетона-сырца с помощью пластомера НИПИ-силикатобетона перед распалубкой и тепловлажностной обработкой;

- режим тепловой обработки изделий.

9.9 Определение эксплуатационной надежности (прочности, трещиностойкости, жесткости и т.д.) конструкций из ячеистого фибробетона производится таким же образом, как и изделий из обычного железобетона по ГОСТ или ТУ на данное изделие с учетом положений ВСН 56-97. Периодичность контроля прочности фибробетона изготовленных конструкций устанавливается ГОСТами или ТУ на соответствующие изделия.

9.10 Система контроля прочности фибробетона включает:

- приемочный контроль качества исходных материалов;

- контроль фибросодержания и однородности распределения фибр в матрице;

- контроль средней величины и коэффициента вариации предела прочности фибробетона при растяжении;

9.11 Каждая новая партия фибры, поступившая на производство дополнительно испытывается в бетонах текущего производственного состава. При этом прочность бетона не должна отличаться от производственной более чем на ±10%.

Кроме этого, фибра должна испытываться в бетонных производственных составах при температурах изотермического выдерживания. В частности, стекловолокнистая щелочестойкая фибра согласно п. 2.5.5 ВСН 56-97 испытывается в бетонных производственных

составах при температурах 60–80°С изотермического выдерживания в течение 8 часов. При этом снижение прочности не должно превышать 20%.

9.12 Согласно п. 2.5.6 ВСН 56-97 на технологических линиях надлежит организовать систематический контроль равномерности распределения фибр в ячеистобетонной смеси. Методику контроля для стекловолокнистой фибры рекомендуется принимать по указанному выше пункту ВСН 56-97.

Рекомендуется однородность распределения фибры в фибропенобетонной смеси определять также по величине погружения специального конуса в смесь под действием собственного веса в соответствии с методикой, предложенной в **[15]**, а также в ТУ 5767-033-02069119-2003 «Изделия из фибропенобетона. ЗАО «ФИПЕБ» (Ростов-на-Дону, 2003) и «Технологическом регламенте на изготовление фибропенобетона плотностью 700...800 кг/м. куб.» (РГСУ, ООО «Темп», Ростов-на-Дону, 2001).

Согласно этой методике определяется пластическая прочность смеси τ_i и коэффициент вариации пластической прочности (V_c). По величине коэффициента вариации V_c определяется однородность фибропенобетонную смесь. Если V_c>12%, то изготовленная смесь имеет неоднородности в виде спутанных друг с другом фибр.

При этом пластическая прочность (τ_i) смеси (τ_i) рекомендуется определять по следующей формуле:

$$\tau_i = k \cdot P / (H_i)^2 , \qquad (9.5)$$

где P – масса конуса со скользящим стержнем, г;

k – коэффициент, зависящий от угла конуса. При угле, равном 30^o, k = 0,4446.

Коэффициент вариации пластической прочности (V_c) фибропеносмеси определяется по результатам проведенных испытаний по формуле:

$$V_c = (W_c / (d \cdot \tau)) \cdot 100\%, \qquad (9.6)$$

где $W_c = \tau_{max} - \tau_{min}$ – внутрисерийный размах по результатам трех определений пластической прочности;

d – коэффициент, зависящий от числа определений. Для трех определений пластической прочности d = 1,693;

τ – среднее значение пластической прочности.

В исключительных случаях допускается однородность распределения фиброволокна в формовочной смеси определять визуально. В частности, при контроле формовочной смеси с асбестовым волокном смесь из гидродинамического смесителя выливается в емкость с размерами дна 50×100 см и растекается тонким слоем, что позволяет обнаружить наличие неоднородностей, комков и сплетений. Расплыв смеси, определенный на приборе Суттарда, во всех случаях должен быть в пределах 24–26 см.

9.13 При проверке готовых изделий следует контролировать: среднюю плотность, прочность на сжатие, отпускную влажность – в каждой партии изделий; размеры изделий, толщину защитного слоя арматуры, наличие выколов, трещин – в каждой партии изделий; морозостойкость, усадку при высушивании – при изменении состава и средней плотности ячеистого фибробетона, теплопроводность – перед началом массового изготовления, при изменении технологии и материалов, но не реже одного раза в год.

9.14 Приемку бетона по прочности, средней плотности и отпускной влажности производят для каждой партии изделий. Контроль прочности на сжатие и растяжение производят по ГОСТ 10180, среднюю плотность по ГОСТ 12730.1 или ГОСТ 17623, отпускную влажность по ГОСТ 12730.2 и ГОСТ 21718.

9.15 Прочность на сжатие рекомендуется определять через 1 сутки после тепловой обработки неавтоклавного ячеистого фибробетона. При этом следует также учитывать дополнительное нарастание прочности образцов в камере при влажности 90% и температуре 20 °С. Коэффициент увеличения прочности составляет около 30%.

9.16 Для определения прочности на сжатие неавтоклавного ячеистого фибробетона рекомендуется использовать следующую формулу:

$$R_b^{28} = 1{,}3\, R_{bT}, \qquad (9.7)$$

где R_b^{28} – прочность на сжатие образцов, прошедших тепловую обработку и дополнительное хранение до 28 сут, МПа;

R_{bT} – прочность на сжатие образцов, испытанных через 1 сут после тепловой обработки, МПа;

1,3 – усредненный коэффициент нарастания прочности.

9.17 Рекомендуется определять остаточную прочность по Приложению Б СП 297.1325800.2017, а также характеристики трещиностойкости по ГОСТ 29167 по результатам испытаний на изгиб образцов с надрезом, определяющих критическое значение условного коэффициента интенсивности напряжений (Kc*,МПа·м$^{0.5}$), характеризующего вязкость фибробетона при разрушении.

Значение условного критического коэффициента интенсивности напряжений определяется в ходе неравновесного испытания на изгиб образцов-призм квадратного сечения, размером 100×100×400 мм. Схема испытания приведена на рисунке 9.1.

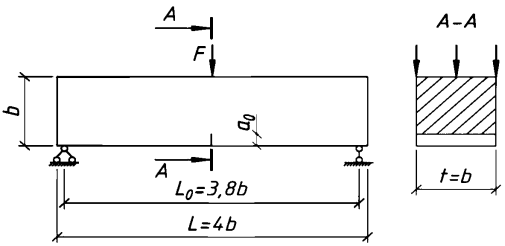


Рисунок 9.1 – Схема испытания образцов-призм по определению критического коэффициента интенсивности напряжений

Критический коэффициент интенсивности напряжений определяется по формуле (9) ГОСТ 29167.

9.18 Определение усадки при высыхании следует производить по ГОСТ 25485.

9.19 Контроль ячеистого фибробетона по показателям теплопроводности производят по ГОСТ 7076. Контроль бетона по показателям теплопроводности производят перед началом массового изготовления, при изменении технологии и материалов, но не реже одного раза в год.

9.20 Карта технологического контроля с контролируемыми параметрами приведена ниже в таблице 9.1.

Таблица 9.1 Карта технологического контроля

Наименование технологического передела	Наименование контролируемого параметра	Периодичность контроля	Метод контроля	Контрольно-измерительная аппаратура	Ответственный за контроль
1. Входной контроль					
Приемка цемента	Удельная поверхность Сроки схватывания Марка цемента	Каждая партия	ГОСТ 310.1, 310.3, 310.4	Прибор ПСХ (АДП) Прибор Вика	Лаборатория
Приемка песка	Зерновой состав Содержание глинистых и илистых примесей	Каждая партия Каждая партия	ГОСТ 8736 ГОСТ 8736	Набор сит	Лаборатория Лаборатория
Приемка и контроль пенообразователя	Кратность и устойчивость пены. Коэффициент стойкости Выход пор	Каждая партия Каждая партия Каждая партия	Взвешивание в сосуде СН 277-80.	Сосуд диаметром 9,9 см, высотой 13 см, объемом 1л с отверстиями	Лаборатория
2. Пооперационный контроль технологического процесса					
Смазка форм	Расслаиваемость эмульсии	1 раз в смену	Визуальный	Мерный цилиндр	Лаборатория
Однородность распределения	Наличие неоднородностей, комков и сплетений	2 раза в смену	п. 2.5.6 ВСН 56-97 ТУ 5767-033-	Емкость с размерами дна 50×100см	Лаборатория

фибровоолокна в формовочной смеси			02069119-2003 Визуальный		
Приготовление фибопенобетонной смеси	Плотность массы Текучесть ячеисто-фибробетонной смеси Пластичность массы	2 раза в смену В каждой формовке 2 раза в смену	Взвешивание кружки с массой СН 277-80 Погружение конуса	Весы, мерная кружка Прибор Суттарда Конус НИИЖБ	Лаборатория
Формование	Высота заполнения формы Разравнивание смеси Температура	2 раза в смену 2 раза в смену 2 раза в смену	Замер высоты заполнения формы Замер температуры	Мерная линейка Рейка Термометр	Лаборатория
Тепловлажностная обработка	Пластическая прочность сырца перед ТВО Температура	2 раза в смену 2 раза в смену	ГОСТ 23789, ТУ 5767-033-02069119-2003.	Конический пластометр Термометр	Лаборатория
3. Прием готовой продукции					
Прием готовой продукции	Отпускная прочность Средняя плотность Отпускная влажность	Каждая партия Каждая партия Каждая партия	ГОСТ 10180 ГОСТ 12730.1 ГОСТ 12730.2	Пресс, линейка Весы, линейка Весы, сушильный шкаф	Лаборатория ОТК

10 ХРАНЕНИЕ И ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ЯЧЕИСТОГО ФИБРОБЕТОНА

10.1 Отгрузку изделий Заказчику следует производить тогда, когда прочность ячеистого фибробетона будет не менее отпускной (80% от проектного класса – летом и не менее 100% проектной – зимой).

10.2 Готовые изделия должны храниться на крытом складе или под навесом в соответствии с требованиями ГОСТ 11118, ГОСТ 19570, ГОСТ 5742.

10.3 Теплоизоляционные изделия, рассортированные по маркам, следует хранить в контейнерах. При отсутствии контейнеров – в штабелях не более шести рядов по высоте с деревянными прокладками толщиной не менее 25 мм и шириной 70 мм.

10.4 Хранение, погрузку, транспортирование и разгрузку изделий следует производить с соблюдением мер, исключающих возможность их повреждения и длительного увлажнения.

10.5 Хранить и транспортировать крупноразмерные стеновые изделия следует в рабочем положении в кассетах с размещением стоек кассет на расстоянии не менее 0,2 м от торца изделия. Плиты покрытий следует хранить в штабелях, имеющих не более шести рядов с установкой инвентарных деревянных прокладок толщиной не менее 30 мм, которые устанавливаются вблизи монтажных петель или меток, указывающих место строповки. Мелкие блоки следует хранить и транспортировать на специальных поддонах или в контейнерах. Блоки из ячеистого фибробетона (ФЯБ) должны храниться рассортированными по типам, категориям, классам по прочности, маркам по средней плотности и должны быть уложенными в штабели высотой не более 2,5 м и защищены от увлажнения.

10.6 Транспортировать крупноразмерные конструкции следует при условии надежного закрепления, исключающего их смещение относительно друг друга и относительно основания транспортного средства. Блоки из ФЯБ

следует перевозить в контейнерах по ГОСТ 20259 или на поддонах по ГОСТ 18343 с жесткой фиксацией термоусадочной пленкой или перевязкой их стальной лентой по ГОСТ 3560 или другим креплением, обеспечивающим неподвижность и сохранность блоков. Перевозку блоков осуществляют транспортом любого вида в соответствии с требованиями ГОСТ 9238 и «Техническими условиями погрузки и крепления грузов».

10.7 Погрузку и выгрузку изделий следует производить соответствующими подъемными механизмами. Запрещается производить погрузку блоков навалом и разгрузку их сбрасыванием.

11 ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ЯЧЕИСТОГО ФИБРОБЕТОНА

11.1 Применение и проектирование конструкций из ячеистого фибробетона следует производить с учетом общих положений и требований, изложенных в СП 339.1325800.2017 «Конструкции из ячеистых бетонов. Правила проектирования», СП 297.1325800.2017 «Конструкции фибробетонные с неметаллической фиброй. Правила проектирования», СП 63.13330.2012 «СНиП 52-01-2003 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения», СП 15.13330-2012 «СНиП II-22-81* Каменные и армокаменные конструкции».

Общие требования по возведению конструкций из ячеистого фибробетона рекомендуется принимать согласно СП 70.13330.2012 и СП 339.1325800.2017 (п.9), а также в соответствие с СТО 501-52-01-2007, СТО НОСТРОЙ 2.9.136-2013 и РМД 52-01-2006 в целях повышения качества выполняемых строительно-монтажных, проектных работ, сокращения сроков и снижения стоимости изготовления за счет использования типовых единых практических подходов к выполнению работ на основе унифицированных методик и технологий.

11.2 Область применения ячеистого фибробетона (ЯФБ) неавтоклавного и автоклавного твердения определяется их основными физико-механическими характеристиками. Основной особенностью неавтоклавных ячеистых бетонов по сравнению с автоклавными, которую надлежит учитывать при проектировании и применении, является повышенная усадка, которая может приводить к появлению усадочных трещин в изделиях как во время изготовления, так и в процессе эксплуатации. Согласно ГОСТ 25485 контролируемая усадка ячеистых бетонов неавтоклавного твердения может достигать 3 мм/м, в то время как у автоклавных ячеистых бетонов – 0,5-0,7мм/м.

11.3 Рекомендуется нормировать трещиностойкость ЯФБ, обусловленную проявлением усадочных деформаций, с использованием коэффициента K_{crc},, определяемого по формуле (5.14) по следующим градациям:

- высокая трещиностокость – интервал коэффициента трещиностойкости K_{crc} находится в пределах 0,75-1;

- удовлетворительная трещиностойкость K_{crc} = 0,5–0,75;

- низкая трещиностойкость K_{crc} < 0,5;

11.4 Допускается предельное значение усадочных деформаций при высыхании ЯФБ неавтоклавного твердения принимать равным 2 мм/м.

11.5 Нормативные и расчетные сопротивления ЯФБ при растяжении для предельных состояний второй группц и расчетные сопротивления при растяжении для предельных состояний первой группы при расчете крупноразмерных конструкций допускается принимать согласно СП 63.13330.2012 по таблицам 6.7 и 6.8, а также согласно СП 339.1325800.2017 по таблицам 5.1 и 5.3 с повышающими коэффициентами:

1,2 – для фибропенобетона марки по средней плотности D1200 с хризотил-асбестовым волокном;

1,5 – для фибропенобетона с полипропиленовой и полиамидной фиброй;

1,8 – для фибропенобетона с базальтовой фиброй;

11.6 Кроме этого, рекомендуется нормируемые прочностные характеристики ячеистого фибробетона принимать по результатам статистической обработки данных испытаний контрольных образцов на осевое растяжение или на растяжение при изгибе. Рекомендуется остаточную прочность ЯФБ определять по результатам испытаний образцов с надрезом согласно Приложения Б СП 297.1325800.2017, а также предел прочности на растяжение ЯФБ и значение коэффициента интенсивности напряжений K_c, характеризующего вязкость фибробетона при разрушении при изгибе, по ГОСТ 29167 (см. п. 9.17).

11.7 Расчетные сопротивления сжатию кладки из мелких ячеистофибробетонных блоков в зависимости от марки бетона блоков принимаются согласно СП 15.13330 по таблице 3.

11.8 Нормативные и расчетные сопротивления ЯФБ при сжатии для предельных состояний второй групп и расчетные сопротивления при сжатии для предельных состояний первой группы при расчете крупноразмерных конструкций допускается принимать согласно СП 63.13330.2012 по таблицам 6.7 и 6.8, а также согласно СП 339.1325800.2017 по таблицам 5.1 и 5.3.

11.9 Начальный модуль упругости E_{fb} и коэффициент линейной температурной деформации α_{fbt} ЯФБ рекомендуется определять согласно правилу смесей по формулам

$$E_{fb} = E_b(1-\mu_{fv}) + E_f\mu_{fv}, \quad (11.1)$$

$$\alpha_{fbt} = \alpha_{bt}(1-\mu_{fv}) + \alpha_f\mu_{fv}, \quad (11.2)$$

где μ_{fv} – коэффициент фибрового армирования по объему;

E_f – модуль упругости фиброволокна;

α_f – коэффициент линейной температурной деформации фиброволокна.

Значения модуля упругости для автоклавного фиброгазобетона марок по средней плотности D500-D700 допускается принимать по СП 63.13330.2012 (таблица 6.11) и СП 339.1325800.2017 «Конструкции из ячеистых бетонов. Правила проектирования» (таблица 5.5) с учетом повышающего коэффициента 1,1.

11.10 Значение предельных относительных деформаций при растяжении для автоклавного фиброгазобетона марок по средней плотности D500-D700 допускается принимать равным 0,00035.

11.12 За нормативные сопротивления растяжению фиброволокна $R_{f,ser}$ принимаются наименьшие контролируемые значения временного сопротивления разрыву для фибры в виде отрезков комплексной нити или элементарного волокна в зависимости от предусмотренной проектом технологии изготовления конструкций.

Указанные контролируемые характеристики фиброволокна принимаются в соответствии с техническими условиями на фибру и гарантируются с вероятностью не менее 0,95.

Расчетные сопротивления фиброволокна растяжению для предельных состояний первой группы R_f определяются путем деления нормативных сопротивлений на коэффициент надежности по фибре γ_{sf}, принимаемый в зависимости от вида фиброволокна.

11.13 Расчетные сопротивления фибры из стекловолокна рекомендуется принимать по таблице 11.1.

Таблица 11.1 – Нормативные и расчетные сопротивления при растяжении стекловолокна

Вид фибры	Нормативные сопротивления растяжению R_{sfn} расчетные сопротивления растяжению для предельных состояний второй группы $R_{sf,ser}$, МПа	Коэффициент надежности по фибровой арматуре γ_{sf} при расчете конструкций по предельным состояниям		Расчетное сопротивление растяжению R_f для предельных состояний первой группы
		первой группы	второй группы	
Фибра из: щелочестойкого стекловолокна в виде отрезков комплексных нитей, получаемых из ровинга по ТУ 21-38-223 при марках стекла:				
Щ-15ЖТ	1100	1,3	1,0	845
СЦ-6	1100	1,2	1,0	910
СЦ-6ПУ	1100	1,1	1,0	1000
алюмоборосиликатного (нещелочестойкого) стекловолокна по ГОСТ 17139 в виде отрезков комплексных нитей	1200	1,3	1,0	930

11.14 Расчетное сопротивление на растяжение фибры из стекловолокна понижается путем умножения на коэффициент K_τ, учитывающий снижение прочности фибры в цементном камне по сравнению с прочностью исходного волокна, принимаемый по п. 11.16.

11.15 Коэффициент K_τ зависит от типа и химического состава волокна, условий твердения и возраста ячеистого фибробетона. Значения коэффициента K_τ для фибры из щелочестойкого стекловолокна марки Щ-15ЖТ приведены в таблице 11.2.

Для стекловолокна марки СЦ6 коэффициент K_τ может приниматься равным 1 для условий, обозначенных под номерами 1, 2 и 3, и равным 0,9 – для условий 4 в таблице 11.2.

Таблица 11.2 – Значения коэффициента K_τ

Условия начального твердения	Значения K_τ			
	возраст бетона, мес.			
	1	3	6	12
1.Хранение в нормальных условиях при t = 20 °С	0,63	0,53	0,45	0,37
2. Тепловлажностная обработка при t = 40 °С	0,63	0,53	0,45	0,37
3. Тепловлажностная обработка при t = 60 °С	0,53	0,5	0,4	0,33
4. Тепловлажностная обработка при t = 80 °С	0,4	0,36	0,34	0,32

11.16 При вычислении расчетного сопротивление на растяжение фибры из стекловолокна рекомендуется вводить коэффициент условий работы γ_{fb1}, значения которого принимаются в зависимости от процента объемного армирования ячеистого фибробетона и влажности среды, в которой эксплуатируется конструкция, по таблице 11.3.

Таблица 11.3

Вид бетона	Значения коэффициента γ_{fb1}, при условиях эксплуатации конструкции		
	воздушно-сухих	влажных W > 80%	на открытом воздухе
Ячеистый фибробетон на портландцементе и щелочестойком волокне при объемном проценте фибрового армирования			
1,2	0,9	0,70	0,70
2,0	0,95	0,73	0,75
2,8	1,0	0,75	0,80

11.17 Основными, наиболее доступными в изготовлении и строительстве (без монтажных кранов) изделиями из ФЯБ являются стеновые мелкие блоки. Конкретные размеры блоков из ФЯБ устанавливаются в проектах зданий и согласовываются с организациями – изготовителями блоков в зависимости от способа их формования – в индивидуальных или кассетных формах. Изготавливаются блоки по ТУ 5741-001-80392712-2013 (Сертификат соответствия № РОСС RU.АГ75.Н05997 от 11.10.2013), ТУ 5741-001-85812188-2016 и др. по по аналогии с ГОСТ 31360, ГОСТ 21520.

11.18 Мелкие блоки из ФЯБ рекомендуется применять в бескаркасных зданиях в наружных и внутренних несущих стенах. Требуемая прочность кладки стен и блоков определяется расчетом на все действующие нагрузки (в том числе на ветровые и сейсмические) на основании СП 15.13330.2012 (п.п.6-8) и СП 339.1325800.2017 (п. 6.2). Конструирование стен из мелких блоков рекомендуется выполнять согласно п.8 СП 339.1325800.2017, СП 15.13330.2012 (п.9,10, Приложения Г, Д, Е), а также СТО 501-52-01-2007, СТО НОСТРОЙ 2.9.136-2013, РМД 52-01-2006.

11.19 Толщина стен из мелких блоков и панелей, изготовляемых из ФЯБ, необходимая для обеспечения требуемого сопротивления теплопередаче, определяется расчетом по СП 50.13330.2012. При этом значения коэффициентов теплопроводности, приведенные в таблице

Приложения Т СП 50.13330.2012, допускается снижать для фибропенобетона неавтоклавного твердения с полимерными волокнами и принимать по ТУ 5741-001-80392712-2013. Рекомендуемые значения коэффициента теплопроводности допускается принимать по таблице 11.1.

11.20 Показатели марки по морозостойкости теплоизоляционного и конструкционно-теплоизоляционного фибропенобетона в зависимости от марок по средней плотности допускается принимать по таблице 11.4.

Таблица 11.4 – Физико-механические и теплотехнические показатели фибропенобетона по ТУ 5741-001-80392712-2013

Марка по плотности	Марка по морозостойкости, циклы	Теплопроводность, Вт/(м·°С)	
		в сухом состоянии	для условий эксплуатации «А»
D300	F25	0,059	0,070
D350	F25	0,070	0,082
D400	F25	0,079	0,101
D500	F50	0,092	0,111
D600	F75	0,111	0,131
D700	F75	0,137	0,155
D800	F100	0,168	0,186

11.21 Наряду с указанным выше (см. пп. 11.17–11.19) применением мелких блоков из ФЯБ в бескаркасных малоэтажных зданиях, их применение возможно (при соответствующем технико-экономическом обосновании) также и в зданиях с внутренними стенами или каркасами из тяжелого или легкого бетонов, а также с колоннами и пилястрами из кирпича. Исходя из условий обеспечения теплотехнических, архитектурных и прочих требований доцускается облицовка наружных стен из ФЯБ кирпичом.

11.22 В тех случаях, когда для изготовления и монтажа изделий из ФЯБ имеется соответствующее крановое оборудование, рекомендуется применить индустриальные крупноразмерные конструкции, а именно:

- крупные стеновые блоки, армированные и неармированные;
- стеновые армированные панели;

- армированные плиты покрытий и перекрытий.

Размеры этих конструкций, армирование, сопряжение между собой и другие детали решаются в соответствии с требованиями ГОСТ 11118, ГОСТ 19570-2017, РМД 52-01-2006.

11.23 Проектированию крупноразмерных конструкций из ФЯБ автоклавного твердения и зданий из них в каждом конкретном случае должно сопутствовать их опытное производство по принятой технологии, которое должно доказать технологическую возможность регулярного изготовления этих конструкций с усадочными трещинами не более 0,2 мм.

11.24 Допускается применять ремонт панелей на заводе или после их монтажа.

11.25 Указанные выше (см.п.11.22-11.23) настоящих Рекомендаций) крупноразмерные конструкции из ФЯБ рассчитываются и конструируются согласно положений, изложенных в СП 297.1325800.2017 (раздел 7), СП 339.1325800.2017 (п.6.1 и п.9), а также в РМД 52-01-2006 с учетом прочностных и деформативных характеристик в соответствии с п.п. 11.5-11.16.

11.27 Конструкции междуэтажных перекрытий (в том числе, над подвалом или подпольем), а также покрытий (чердачных и бесчердачных) должны проектироваться максимально индустриальными в виде крупноразмерных сборных плоских плит. Наряду с указанными выше индустриальными перекрытиями могут применяться сборно-монолитные перекрытия с использованием мелких блоков.

11.28 Сборно-монолитные железобетонные плоские плиты перекрытий состоят из железобетонных монолитных балок, бетонируемых между стеновыми мелкими блоками из ФЯБ, укладываемыми на опалубку (рисунок 11.1).

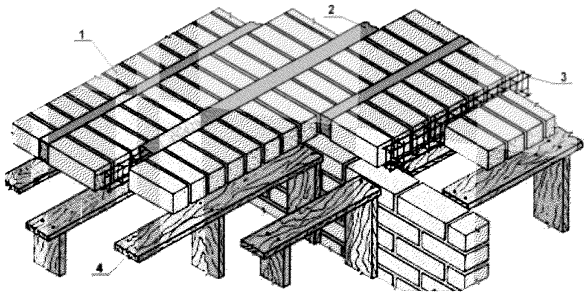


Рисунок 11.1 – Сборно-монолитное перекрытие:
1 – мелкий ячеистобетонный блок; *2* – монолитная железобетонная балка из мелкозернистого бетона; *3* – арматурные каркасы; *4* – опалубочная доска.

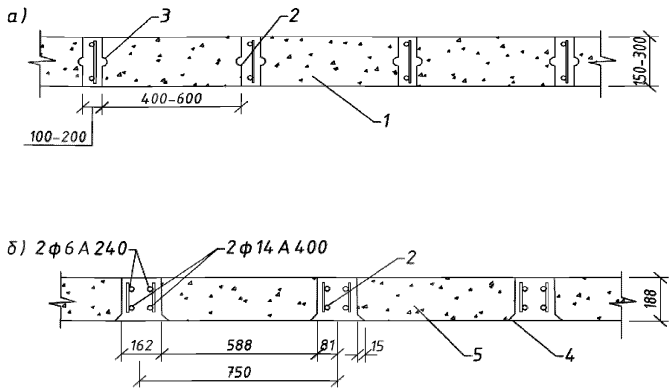


Рисунок 11.2 –Сборно-монолитные перекрытия для зданий, возводимых при отсутствии монтажных кранов:
а – принципиальная схема; *б* – по типовому проекту ЛенЗНИИЭП серии 216; *1* – стеновые блоки из ячеистого бетона длиной 400-600 мм, высотой 150–300 мм, толщиной (шириной) 200–400 мм; *2* – железобетонные монолитные балки; *3* – борозды; *4* – фаски; *5* – стеновые блоки длиной 588 мм, высотой 188 мм, толщиной (шириной) 300 мм

11.29 Толщина перекрытия и шаг балок определяются размерами блоков, которые могут быть по толщине от 150 до 300 мм, по длине от 400 до 600 мм.

Для изготовления таких перекрытий рекомендуется использовать разреженную опалубку (расположенную вдоль монолитных балок). Блоки укладываются «насухо» и по возможности плотнее друг к к другу. На поверхности блоков, обращенных в сторону балок, для улучшения сцепления между ними устраиваются углубления – борозды, фаски, насечки (поз. 3 на рисунке 11.2). Тяжелый бетон монолитных балок должен иметь класс (марку) не ниже В7,5. Бетонная смесь должна быть пластичной, с крупностью заполнителей не более 10 мм (мелкозернистый бетон).

Расчет прочности железобетонных балок по нормальным сечениям допускается производить с учетом их совместной работы с блоками из ячеистого фибробетона согласно Приложения Г СП 339.1325800.2017.

Поперечные стержни в железобетонных балках устанавливаются по конструктивным соображениям с шагом, равным высоте балок на приопорных участках длиной 1/4 пролета. Арматурные каркасы могут изготавливаться как сварными, так и вязаными с устройством на концах всех стержней гнутых крюков.

11.30 Допускается применение крупноразмерных сборных конструкций плит перекрытий и покрытий из конструкционных неавтоклавных ячеистых бетонов (ГОСТ 25485) со средней плотностью 1000–1200 кг/м^3 и классов от В5 до В15 только в опытном порядке. При этом рекомендуются только плоские плиты, толщина которых устанавливается расчетом и экспериментом.

11.31 При применении крупноразмерных конструкций из ФЯБ допускается использовать типовые проекты крупноблочных или крупнопанельных зданий (при соответствующей проверке расчетом прочности и прогибов этих конструкций), а при применении мелких

стеновых блоков из ФЯБ можно использовать имеющиеся проекты зданий с мелкоблочными стенами из автоклавных ячеистобетонных блоков, в частности «Каталог проектов индивидуальных жилых домов и хозяйственных построек из блоков ячеистого бетона серии 216», а также проекты кирпичных домов (с соответствующей проверкой расчетом прочности стен из мелких блоков).

11.32 Применение ФЯБ в стенах животноводческих и птицеводческих зданий может быть разрешено по аналогии с автоклавными ячеистыми бетонами, которые согласно ГОСТ ГОСТ 11118-2009 допускаются к применению в зданиях с относительной влажностью воздуха помещений до 75% при условии нанесения на внутренние поверхности стен паройзоляционнчх покрытий, характеристика которых укаэырается в рабочих чертежах. При влажности воздуха помещений до 60% устройство пароизоляции не требуется.

Приложение 1 (справочное)

ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ФИБРЫ

П.1.1 Фибра из синтетических волокон (полипропиленовых, полиэфирных, полиамидных или нейлоновых, арамидных, акриловых, полиэтиленовых, полиолефиновых, триацетатных, капроновых, поливинилацетатных, полиакрилатных углеродных волокон, а также полиэфирных волокон из полиэтилентерефталата или «Лавсанового волокна» являющегося торговой маркой полиэтилентерефталата).

Синтетическая фибра состоит из химически синтезируемых (полимеризация,поликонденсациия, карбонизация и т.п.) волокон.

Волокна подразделяют на микроволокна длиной в районе миллиметра и макроволокна длиной до 80 мм. Соотношения длины и эффективного диаметра волокон находятся в пределах от 100 до 500.

Наиболее подходящими для ячеистого бетона являются синтетические волокна, модуль упругости которых в 2-3 раза выше модуля упругости ячеистого бетона. Данная фибра является химически стойкой, улучшает реологические свойства ячеистофибробетонных смесей, структурообразование ячеистого бетона на стадии твердения и повышает его долговечность.

Синтетическая фибра состоит из химически синтезируемых (полимеризация, поликонденсациия, карбонизация и т.п.) волокон. Различают арамидные, акриловые, нейлоновые, полиэфирные, полиэтиленовые, полипропиленовые и углеродные волокна.

Волокна подразделяют на микроволокна длиной в районе миллиметра и макроволокна длиной до 80мм. Соотношения длины и эффективного диаметра волокон находятся в пределах от 100 до 500. Для фибрового армирования ячеистых бетонов могут использоваться синтетические волокна различного диаметра от 1 мкм до 100 мкм в виде отрезков длиной (рекомендуемой из условий пластичности) от 1,1мм до 6,6мм.

Синтетическая фибра по сравнению со стальной легче распределяется и смешивается, не вызывая абразивных повреждений смешивающего и подающего оборудования.

Важной характеристикой синтетической фибры является температура ее плавления, окисления или разложения.

Вышеперечисленные виды синтетической фибры обладают химической совместимостью с ячеистыми бетонами на основе портландцемента.

П.1.1.1 Полиамидная фибра

Полиамидное (нейлоновое) волокно – синтетическое волокно, формируемое из растворов или расплавов полиамидов. Волокно отличается высокой прочностью и эластичностью (низкий модуль упругости и высокие относительные деформации при разрыве). Известно под торговыми названиями капрон, найлон-6, найлон-66 и др.

Полиамидная фибра инертна к химическим воздействиям, в том числе щелочным реакциям в цементной матрице. Содержание полиамидной фибры в матрице порядка 0,1–0,2% не оказывает влияния на условия гидратации цемента, но при более высоком содержании фибры условия твердения матрицы с фиброй будут отличаться от исходного материала.

Полиамидную фибру под торговым названием «капрон» рекомендуется применять при дисперсном армировании пенозолобетона (Ц:З = 1:1) средней плотности 700…800 кг/м^3 [18], [10]. При этом процент армирования капроновыми волокнами (d = 0,02 мм, l = 20 мм) принимается 0,3…2,7% по массе.

Снижения прочности капроновых волокон, прошедших испытания (по оценке щелочестойкости капроновых волокон по прочности на разрыв нитей, подвергнутых кипячению в растворах NaOH и $Ca(OH)_2$ в течение 20 часов), не отмечено [18].

Кроме фибры заводского изготовления допускается применять фибру из промышленных отходов, в частности, из кордного волокна, получаемого из шинного корда [24]. При получении шинного корда используются полиамидные волокна (исходные полимеры).

Кордные волокна (вискозные и капроновые) относятся по своему виду к синтетическим волокнам органического происхождения.

Промышленные отходы корда представляют собой волокна длиной от 5 до 25 мм, диаметром до 0,67 мм, которые легко перемешиваются как с бетонной смесью, так и с составляющими компонентами в сухом виде, не образуя комкований, равномерно распределяясь по объему, не расслаиваясь при транспортировке и виброуплотнении бетонной смеси. Сцепление кордных волокон с цементным камнем бетона обеспечивается не только за счет адгезии, но и за счет распущенности волокон на концах, обеспечивающих анкеровку, а также за счет скрученности волокон, которые создают волокну профилирование.

Оптимальное количество кордных волокон, вводимых в бетонную смесь, может составлять 2% от массы цемента или 0,6% от массы бетона.

Физико-механические показатели полиамидных волокон и нитей по различным источникам и нормативной документации приведены в сводных таблицах П.1.1 и П.1.2.

Для оценки неравномерности нитей (таблица 4.2) по разрывной нагрузке применяют коэффициенты вариации не более 7,0%.

Значения прочностных характеристик полиамидных волокон и нитей должны быть не менее приведенных в таблицах П.1.1 и П.1.2, а также в соответствующих ГОСТ и Технических Условиях.

Таблица П.1.1 – Физико-механические характеристики полиамидных волокон

Тип волокна	Индекс по ISO	Диаметр волокна в 10^{-3}мм	Длина волокна, мм	Плотность, ρ, кг·м$^{-3}$, при 25°С	Предел прочности на растяжение в МПа	Относительная прочность, $P_р$, сН·текс$^{-1}$	Модуль упругости в ГПа	Предельная деформация в%	Процент армирования	Температура плавления/ окисления/ разложения в °С	Водопоглощение в% по весу**
Полиамидное (нейлон) по данным [4]		**22,86***		**1140**	965		5,171	20		200-221	2,8-5,0
Полиамидное волокно по ISO/TC 38/SC	**PA-6**			**1130 – 1135**	**340-509**	**30-45**	**2,0-3,2**	40-70			
Полиамидное по ТУ 6-13-0203969-16-90		**13-17**	**30...70** (3-5)			**15...25**		не более 85%	1% от массы твердых компонен-тов	не менее 250	
Полиамидное по ГОСТ 51626-2000				**1130-1150**						213-215	
Полиамидное по данным **[21]**		**10...25**		1140	**800...1000**		**4,0...8,0**	4,0... 15,0			
Полиамидное по данным **[28]**				900	720 – 750		1,9 – 2,0	24–25			
Нейлоновое по данным **[28]**				1100	**770 – 840**		4,2 – 4,5	16–20			
Кордные волокна (капроновые) из промышленных отходов по данным **[24]**		до 670	5… 25	1100-1500	720		1,9	24±2	2% от массы цемента		
Полиамидная фибра под торговым названием «капрон»		20	20	1140	700			4 – 7	0,3…2,7% по массе		

– со звездочкой * указан эквивалентный диаметр;

– Длина полиамидных волокон может отличаться от приведенных выше (по ТУ 6-13-0203969-16-90) значений и составлять 3-5мм.

– ** Согласно стандарта ASTM D570 Standard Test Method for Water Absorption of Plastics.

Таблица П.1.2 –Физико-механические характеристики полиамидных нитей

Тип нити	Индекс по ISO, марка нити по ГОСТ	Плотность, ρ, кг·м$^{-3}$, при 25 °С	Линейная плотность, текс,	Разрывная нагрузка нити, Н	Удельная разрывная нагрузка, (гс/текс), или относительная прочность, $P_р$, сН·текс$^{-1}$			Предел прочности на растяжение в МПа			Удлинение при разрыве, ε,%,			Модуль упругости в ГПа
					Норма нити			Норма нити			Норма нити			
					высший сорт	1-ый сорт	2-ой сорт	высший сорт	1-ый сорт	2-ой сорт	высший сорт	1-ый сорт	2-ой сорт	
1. Нить полиамидная по ГОСТ 22693-98	АВ		187		77	75	73	**867**	**845**	**822**	20,0 ± 2,0	20,0 ± 2,0	20,0 ± 2,0	
	АВ		140		77	75	73	**867**	**845**	**822**	20,0 ± 2,0	20,0 ± 2,0	20,0 ± 2,0	
	А, Б, Б1		187			65			**732**			Не более 18,5		
	А, А1, Б, Б1		93,5			68	67		**765**	**754**		Не более 18,5	Не более 18,5	
Полиамидные нити по ISO/TC 38/SC	РА													
Техническая нить	РА-6	1146-1148			70-95			**802-1089**			14-16			5-10
Техническая нить	РА-6,6				65-80			**738-904**			14-17			3,5-5,5
Кордные нити* (капроновые) из промышленных отходов по данным **[24]**				125-135							24±2			
*Толщина кордной нити составляет 0,5мм при числе элементарных волокон в нити 140														

П.1.1.2 Арамидная фибра

Арамидное (ароматический полиамид) волокно – синтетическое волокно с высокой механической и термической прочностью. Наиболее известные мировые торговые марки арамида – Kevlar, Twaron, Nomex, Kermel, Терлон.

Арамидное волокно марки СВМ желто-зеленого цвета, блестящее, пластичное при растирании (раздавливании), толщиной 30-31мкм. Результаты исследований, проведенных в НИИЖБ **[1]**, свидетельствуют, что после пребывания в щелочной (NaOH) (0,5Н) и кислотной (H_2SO_4) (0,5Н) средах изменяется только цвет волокна (отмечается помутнение). Потеря массы составляет соответственно 2,5% и 1,5% **[1]**.

Арамидное волокно марки «Терлон» – соломенно желтого цвета (с зеленоватым отливом), плстичное при растирании (раздавливании), толщиной 23–25мкм. После пребывания в щелочной (NaOH) (0,5Н) и кислотной (H_2SO_4) (0,5Н) средах изменяется только цвет волокна (отмечается помутнение). Потеря массы составляет соответственно 1,0% и 1,5%.

Арамидное волокно в пять раз прочнее стального и в 2,5 раза прочнее стеклянного волокна. Недостатком является способность волокна поглощать влагу. Арамидное волокно остается достаточно стабильным по прочности и деформативности при высоких температурах.

Физико-механические показатели арамидных волокон по различным источникам и нормативной документации приведены в сводной таблице П.1.3.

Значения прочностных характеристик арамидных волокон должны быть не менее приведенных в таблице П.1.3, а также в соответствующих Технических Условиях.

Таблица П.1.3 – Физико-механические характеристики арамидных волокон

Тип волокна	Индекс по ISO	Диаметр волокна в 10^{-3}мм	Длина волокна, мм	Плотность, ρ, кг·м$^{-3}$, при 25°С	Предел прочности на растяжение в МПа	Относительная прочность, $P_р$, сН·текс$^{-1}$	Модуль упругости в ГПа	Предельная деформация в%	Температура плавления/ окисления/ разложения в °С	Водопоглощение в% по весу**
Арамидное I по данным **[4]**		**11,94***		**1440**	**2930**		62,055	4,4	482	4,3
Арамидное II по данным **[4]**		**10,16***		**1440**	**2344**		117,215	2,5	482	1,2
Арамидные по ISO/TC 38/SC	PA									
Поли(фени-лентерефталамидные) СВМ, тварон, кевлар	p-AR			**1420-1450**	до **3588**	до 250	65-70	2,5-3,5		
Поли(м-фениленизофталамидные), фенилон, номекс	м-AR			**1398-1405**	**841-981**	60-70	20-30	10-15		
Поли(фениленоксадиазольные), Оксалон (арселон)	POD			**1360-1370**	**1365-2048**	100-150	40-60	2,0-3,7		
Арамидное по данным [21]		**5...10**		1450	**3500...4000**		70...135	2,0...4,0		

– со звездочкой * указан эквивалентный диаметр
– ** Согласно стандарта ASTM D570 Standard Test Method for Water Absorption of Plastics

П.1.1.3 Полипропиленовая фибра

Полимерные волокна на основе полипропилена характеризуются повышенной деформативностью и химической стойкостью.

Полипропиленовая фибра имеет относительно высокий модуль упругости (до 8000 МПа), высокую химическую стойкость и прочность на растяжение (до 770 МПа).

Ячеистый бетон с наполнением из полипропиленовых волокон наиболее востребован в производстве пеноблоков.

Полипропиленовое волокно – синтетическое волокно, формируемое полимеризацией пропилена. Полипропиленовая фибра в мировой практике производится двух видов: моноволоконная и мультиволоконная – представляющая собой как бы разрезанную на отдельные полосы и скрученную в сеть. При перемешивании бетона мультиволоконная фибра раскручивается, вытягивается и производит сквозное армирование бетона. В большинстве случаев формируется в виде моноволокна. В отличие от полиэтилена, полипропилен менее плотный и более термостойкий (начинает размягчаться при 120–140 °С, температура плавления 165–175 °С). Превосходит полиэтиленовую фибру по термоостойкости, но уступает ей по морозостойкости. Его температура хрупкости колеблется от минус 5 до минус 15 °С. Полипропиленовые волокна обладают высокой химической стойкостью и не впитывают влагу. Сцепление с растворной или бетонной матрицей имеет характер только механического взаимодействия. Волнистая форма фибры позволяет обеспечить прочное сцепление с бетоном, придать ему прочность, износостойкость.

Полипропиленовые волокна могут быть диаметром 20–60 мкм. Длина полипропиленовой фибры от 3 мм до 18 мм. При этом истинная плотность полипропиленовой фибры составляет 909 кг/м^3, а насыпная плотность – 123–136 кг/м^3 , порозность – 86,0–87,6%. При расходе на 1м^3 бетона 0,6–1,0 кг полипропиленовой фибры повышается прочность на растяжение и изгиб, морозостойкость, износостойкость, водонепроницаемость.

Оптимальное содержание полипропиленовой фибры в неавтоклавном пенобтоне, по результатам исследований, проведенных в НИИЖБе [2] следует принимать 1–3% от массы цемента. Кроме этого, наиболее значительный эффект по трещиностойкости достигается при введении в состав пенобетона полипропиленовых волокон длиной 10мм.

В Москве на Московском нефтеперерабатывающем заводе организовано опытное производство фибры из полипропилена. Полипропиленовая фибра изготавливается по ТУ 5743-001-33181465 (Фирма- производитель ЗАО «СОТ») и ТУ 2499-007-90557835-2014 «FIBRA полипропиленовая Cemmix Fibra».

В настоящее время находит свое применение полипропиленовое волокно «ВСМ-Бетон» из термопластичных полимеров по ТУ 2272-006-1349727-2013 «Волокно строительное микроармирующее», которое представляет собой полимерные фибриллированные (высокоориентированные) волокна, изготовленные из термопластиных полимеров. Тип волокна – круглое, коаксильное ядро/оболочка диаметром 17–25 мкм. Применяется как компонент строительных растворов и смесей, модифицирующий структуру вяжущих веществ и предотвращающий образование и развитие внутренних дефектов цементных композиций. В пенобетонах используется в основном марка ВСМ-II-20/6 (с резкой волокон длиной 6 мм) с дозировкой 0,6 кг/м^3. ВСМ способно перемешиваться в любом типе смесителей (гравитационного или принудительного действия), то есть, хорошего диспергирования волокон при соответствующем отсутствии их комкования можно достичь в смесителях как гравитационного, так и принудительного действия. ВСМ волокно может вводиться как непосредственно после добавления воды, так и в сухую смесь. Рекомендуемая продолжительность перемешивания бетонных смесей увеличивается на 10–20% для получения смеси бетона, в котором отдельные элементарные волокна должны быть распределены гомогенно. При введении волокон ВСМ в ячеистобетонную смесь удобоукладываемость смеси не падает, так как увеличивается ее эластичность, пластичность и гомогенность, в связи с чем, не требуется дополнительного введения воды затворения.

Российская инновационная компания «Санкт-Петербург Бизнес Энд Билдинг Систем Групп» и английская компания «ADFIL» поставляют в России полипропиленовое волокно «Фибрин» английской компании Fibrin (Humbelside) Ltd. Фибрин имеет прочность на растяжение в среднем 557 МПа, модуль упругости 4158 МПа.

На отечественный рынок поставляется также зарубежная полипропиленовая фибра марки Conloc.

В Англии были разработаны полипропиленовые волокна «Caricrete» длиной от 10 до 100мм, которые дозируют в бетонную смесь в количестве от 0,1 до 0,4% от веса всего материала.

Физико-механические показатели полипропиленовых волокон и нитей по различным источникам и нормативной документации приведены в сводных таблицах П.1.4 и П.1.4а.

Значения прочностных характеристик полипропиленовых волокон должны быть не менее приведенных в таблицах П.1.4 и П.1.4а, а также в соответствующих Технических Условиях.

Таблица П.1.4 – Физико-механические характеристики полипропиленовых волокон

Тип волокна	Индекс по ISO	Диаметр волокна в 10^{-3} мм	Длина волокна, мм	Площадь удельной поверхности $м^2/кг$	Плотность, ρ, кг/м3 при 25 °С	Предел прочности на растяжение в МПа	Относительная прочность, $P_р$, $сН \cdot текс^{-1}$	Модуль упругости в ГПа	Предельная деформация в%	Процент (дозировка) армирования	Температура хрупкости, С	Температура плавления/ окисления/ разложения в °С	Температура воспламенения в С
Полипропиленовое по данным **[4]**					**900-910**	**138-689**		**3,447-4,826**	**15**			165	593
Полипропиленовое волокно по ISO/TC 38/SC	PP				**919-922**	**276-414**	**30-45**	**2,0-4,0**	**45-90**				
Полипропиленовое по ГОСТ Р 51626-2000					**900-920**							**160-168 140-145***	
По данным **[21]**		**20...200**			900	**500...750**		**5...7,5**	**6...9**				
Полипропиленовое мультифиламентное по данным **[17]**		25-35	12		910								
Полипропиленовое по данным **[2]**					900	**560-770**		**7,0**	**25мм/м**	1-3% от массы цемен-та			
Полипропиленовое по данным **[24]**					900	**560-770**			**25**				
Полипропиленовое по данным **[28]**					900	400–700		3,5–8,0	10–25				
Полипропиленовое по данным **[20]**		18	12,0		**900**	**400–770**		**3,5–8,0**	**10–25**		-5… -15	165–175	

Окончание таблицы П.1.4

Волокно строительное микроармирующее (ВСМ) ВСМ-II-20/6 по ТУ 2272-006-1349727-2013		**17…25**	3, 6, 12, 18	200-280	910	**650**		**13,00**	**15**	0,6 кг/м^3		165	593
Фиброволокно-ПП (полипропилен С3Н6) по ТУ 5743-001-33181465-2006		10-15	12, 20		910			**5,6**		0,6-2 кг/м^3		160	>320
Фиброволокно (С3Н6) N Cemmix Fibra по ТУ 2499-007-90557835-2014	PP	20-25	3, 6, 12, 18		910	560		не менее 6,0				164 ~170	
Полипропиленовое волокно «Фибрин» английской компании Fibrin (Humbelside) Ltd.						557		4,158					
Полипропиленовые волокна «Caricrete» (Англия)			10-100							0,1…0,4% по массе			
* – температура размягчения;													

Таблица П.1.4а – Физико-механические характеристики полипропиленовых нитей по данным ISO/TC 38/SC

Наименование	Индекс по ISO	Плотность, ρ, кг·м$^{-3}$, при 25 ^{0}C	Относительная прочность, P_p, сН·текс$^{-1}$	Предел прочности на растяжение в МПа	Удлинение при разрыве, ε,%	Модуль упругости, Е, ГПа, при 25^{0}C
Полипропиленовые нити по ISO/TC 38/SC	PP	920-922	35-50	322-460	18-25	3,0-4,0

П.1.1.4 Полиэфирная фибра

Полиэфирное волокно – формируемое из расплава полимера полиэтилентерефталата (PET) или его производных. Характеристики волокна во многом зависят от технологии изготовления, в том числе химической модификации. Для фибробетонов применяют, как правило, полиэфиры-термопласты, т.е. полимеры, способные обратимо переходить при нагревании в высокоэластичное либо вязкотекучее состояние. Характеристики материала изменяются с увеличением температуры, а при температуре свыше 260°C происходит разрушение самого материала. Полиэфирные волокна обладают высокой химической стойкостью и не впитывают влагу. Сцепление с растворной матрицей имеет только характер механического взаимодействия.

«Лавсан» или «Лавсановое волокно» является торговой маркой полиэтилентерефталата. Прочность газобетонных изделий плотностью 300-500кг/м^3 повышается при введении добавки лавсанового волокна в количестве 1% по массе.

Физико-механические показатели полиэфирных волокон и нитей по различным источникам и нормативной документации приведены в сводных таблицах П.1.5, П.1.5а и П.6.

Значения прочностных характеристик полиаэфирных волокон и нитей должны быть не менее приведенных в таблицах П.1.5, П.1.5а и П.1.6, а также в соответствующих Технических Условиях.

Таблица П.1.5 – Физико-механические характеристики полиэфирных волокон

Тип волокна	Индекс по ISO	Диаметр волокна в 10^{-3}мм	Плотность, ρ, кг/м3 при 25 °С	Предел прочности на растяжение в МПа	Относительная прочность, $P_р$, сН·текс$^{-1}$	Модуль упругости в ГПа	Предельная деформация в%	Температура воспламенения в °С	Температура плавления/ окисления/ разложения в °С	Водопоглощение в% по весу*
Полиэфирное (полиэстер) по данным [4]		19,81*	**1340-1390**	**227-1103**		**17,237**	12-150	593	257	0,4
Полиэфирные по ISO/TC 38/SC	PES									
Полиэтилентерефталатные волокна	PET			**491-614**	**36-45**	**3,5-5,7**	30-50			
По ГОСТ 51626-2000			**1130-1140**						**259-263**	
Полиэфирное по данным [28]			1400	730–780		8,4–8,6	11–13			
– * Согласно стандарту ASTM D570 Standard Test Method for Water Absorption of Plastics										

Таблица П.1.5а – Физико-механические характеристики полиэфирных волокон, применяемых для изготовления шинного корда по данным [24]

Тип нити	Плотность, ρ, кг·м$^{-3}$, при 25°С	Диаметр волокна в 10^{-3}мм	Длина волокна, мм	Разрывная нагрузка нити, Н	Предел прочности на растяжение в МПа	Удлинение при разрыве, ε,%,	Модуль упругости в ГПа	Толщина нити, мм	Число элементарных волокон в нити
Кордные волокна из промышленных отходов	1100–1500	670	5–25	**144–148**	**710–720**	20	2,0	0,53	190–200

Таблица П.1.6 Физико-механические характеристики полиэфирных нитей по данным ISO/TC 38/SC

Тип нити	индекс по ISO, марка нити по ГОСТ	Удельная разрывная нагрузка, (гс/текс), или относительная прочность, P_p, сН·текс$^{-1}$	Предел прочности на растяжение в МПа	Удлинение при разрыве, ε,%,	Модуль упругости в ГПа
Полиэтилен-терефталат-ные нити по ISO/TC 38/SC	PET				
Техническая нить		57-80	**778-1092**	8-11	13,0-16,0
Полигликолидная нить	PGF	40-45	**546- 614**	15-20	–
Полилактидная нить	PLF	35-40	**478- 546**	20-25	–
Поли (пропилентерефталат-ная) нить	PPT	30-35	**410- 478**	35-45	–
Поли (бутилентерефталатная)	PBT	32-37	**437- 505**	33-38	

П.1.1.5 Полиэтиленовая фибра

Полиэтиленовое волокно – синтетическое волокно, получаемое путем полимеризации этилена при низком или высоком давлении. Получают в виде моноволокна (нити) диаметром 0,2–0,8 мм. Для данного волокна характерна относительно низкая температура плавления и термопластичность, в виду чего даже при сравнительно небольшом повышении температуры прочность его сильно снижается. Положительным качеством полиэтиленового волокна является их очень высокая химическая стойкость.

Фибра на основе полиэтиленового волокна может иметь различную конфигурацию для улучшения свойств сцепления. Полиэтиленовая фибра не впитывает влагу и хорошо распределяется даже в обычном смесителе по растворной матрице при высоких показателях содержания фибры (до 4%), благодаря ее хорошей устойчивости к истиранию.

Физико-механические показатели полиэфирных волокон по различным источникам и нормативной документации приведены в сводной таблице П.1.7.

Значения прочностных характеристик полиэтиленовых волокон и нитей должны быть не менее приведенных в таблице П.1.7.

Таблица П.1.7 – Физико-механические характеристики полиэтиленовых волокон

Тип волокна	Диаметр волокна в 10^{-3}мм	Плотность, ρ, кг·м$^{-3}$, при 25 ^{0}С	Предел прочности на растяжение в МПа	Модуль упругости в ГПа	Предельная деформация в%	Температура плавления/ окисления/ разложения в °С	Водопоглощение в% по весу**
Полиэтиленовое по данным **[4]**	25,4-1016*	**920-960**	76-586	4,999	3-80	134	Отсутствует
Полиэтиленовое по данным **[28]**		950	600-720	1,400-4,200	10-12		

П.1.1.6 Поливинилспиртовое волокно (ПВС-волокно, «винол»)

Поливинилспиртовое волокно, изготавливается из поливинилового спирта. Волокна выпускают резаными и в виде жгута, а также нити. Волокна и нити из ПВС обладают высокими износо-и атмосферостойкостью, химической стойкостью к кислотам и щелочам в умеренной концентрации Тепло и термостойкость волокон и нитей из ПВС определяются следующими характеристиками:

- температура стеклования – 85–90 °С;
- температура плавления – 225–230 °С;
- температура разложения – 170–230 °С;

Волокно относится к высокомодульным волокнам, начальный модуль упругости в 2–5 раз выше, чем у полиамидного волокна и в 1,5 раза больше,чем у полиэфирного волокна. Обычное волокно ПВС имеет прочность при растяжении 300–500 МПа, высокопрочное до 1000 МПа. Из-за высокой гигроскопичности ПВС-волокон возможность использования их в качестве армирующего материала в условиях длительного воздействия влаги ограничена.

П.1.1.7 Акриловая фибра

Акриловые (полиакрилонитрильные) синтетические волокна, получаемые из растворов полиакрилонитрила или его производных. Наиболее известные торговые названия: нитрон, акрил, панакрил, акрилан, дралон. Данное волокно применяют в текстильбетонах с прочностью волокна от 200 до 350 МПа. В качестве альтернативы асбестовому волокнубыли разработаны специальные виды акрилового волокна прочностью до 1000МПа. Полиакрилонитрильное волокно является исходным материалом для изготовления углеволокна (см. п.П.1.1.8).

Физико-механические показатели акриловых волокон и нитей по различным источникам и нормативной документации приведены в сводных таблицах П.1.8 и П.1.9.

Таблица П.1.8 – Физико-механические характеристики акриловых нитей по данным ISO/TC 38/SC

Тип нити	Индекс по ISO, марка нити по ГОСТ	Плотность, ρ, кг·м$^{-3}$, при 25 °С	Удельная разрывная нагрузка, (гс/текс), или относительная прочность, $P_р$, сН·текс$^{-1}$	Предел прочности на растяжение в МПа	Удлинение при разрыве, ε,%,	Модуль упругости в ГПа
Полиакрилонитрильные нити по ISO/TC 38/SC	PAN	1170–1190	40–52	**472–614**	15–25	4,0–6,0

Значения прочностных характеристик акриловых (полиакрилонитрильных) нитей и волокон должны быть не менее приведенных в таблицах П.1.8 и П.1.9, а также в соответствующих Технических Условиях.

Таблица П.1.9 – Физико-механические характеристики акриловых волокон

Тип волокна	Индекс по ISO	Диаметр волокна в 10^{-3}мм	Длина волокна, мм	Плотность, ρ, кг·м$^{-3}$,	Линейная плотность, текс)	Предел прочности на растяжение в МПа	Относительная прочность, P_p, сН·текс$^{-1}$	Модуль упругости в ГПа	Предельная деформация в%	Температура размягчения, °С/ Температура стеклования, °С	Температура плавления в °С	Водопоглощение в% по весу**
Акриловая по данным [4]		**12,7-104,14***		1160-1180		269-1000		**13,79-19,306**	**7,5-50**		**221-235**	1,0-2,5
Полиакрилонитриль-ное по ISO/TC 38/SC	PAN			1170-1190		**236–389**	20-33	3,0-3,5	20-45			
Акриловое (полиакри-лонитрильное) по ГОСТ 51626-2000				1120-1200						**180-200/80-90**		
Полиакрилонитриль-ное FibARM Fiber WB (ПАН) по СТО 61664530-024-2012 и по данным [17]		14-31	6, 12, 18, 24	1170±30	0,17;0,33; 0,56;0,68; 0,77	до 500		не более 11 ГПа	26		до100	
По данным [28]				1100		210–420		2,1–2,15	25–45			
** Согласно стандарту ASTM D570 Standard Test Method for Water Absorption of Plastics												

П.1.1.8 Углеродное волокно (УВ) – высокопрочный конструкционный материал, получаемый в результате ряда химических реакций при ступенчатой термической обработке (при температурах от 240 до 3000 °С) синтетических или природных органических (вискозных и полиакрилонитрильных) волокон, а также специальных волокон из фенольных смол, лигнина, каменноугольных и нефтяных пеков. Углеволокно изготавливается также из целлюлозы.

Углеволокно марки УКН/5000 с замасливателем ПВА – черного цвета, блестящее, вязкое при растирании, толщиной 15мкм. Результаты исследований, проведенных в НИИЖБ **[1]**, свидетельствуют, что после пребывания в щелочной (NaOH) и кислотной (H_2SO_4) (0,5Н) среде волокно остается без изменений, потери массы составляют соответственно 2,7% и 2,1%. Углеволокно марки НТС/2500 с замасливателем ПВА – черного цвета, вязкое при растирании, толщиной 23мкм. После пребывания в щелочной (NaOH) (0,5Н) волокно претерпевает значительные изменения – полностью растворяется с образованием раствора темнокоричневого цвета. После пребывания в кислотной (H_2SO_4) (0,5Н) среде волокно остается без изменений с сохранением толщины. Потеря массы – 2,0%.

Обычное (на основе изотропного сырья) углеродное волокно имеет прочность порядка 0,5–1,0 ГПа и модуль упругости порядка 30 ГПа, а подвергнутое ориентированному структурообразованию или на основе полиакрилонитрила – прочность до 2,5–4,0 ГПа и модуль упругости 200–450 ГПа. Углеродное волокно инертно ко многим химическим воздействиям и имеет исключительно высокую теплостойкость: при тепловом воздействии вплоть до 1600–2000 °С.

Фибру на основе УВ, как правило, изготавливают из жгутов (ровингов). Каждый жгут может содержать до 12000 отдельных нитей углеволокна диаметром 3–15 мкм

Фибра на основе УВ повышает морозостойкость бетона и на 90% снижает его усадку.

Рекомендуемая средняя длина волокна для использования в ячеистобетонной смеси – 12 мм. Волокна выпускают с длиной резки 3, 6, 12, 18, 24 мм и линейной плотностью 0,17; 0,33; 0,56; 0,68; 0,77 текс.

Основными отечественными производителями углеродных волокон на основе ПАН-волокна, вискозного волокна, пеков являются:

- ООО «ВППК» – Волжская Производственно-Промышленная Компания
- РУП «Светлогорское ПО «Химволокно»;
- ООО «Аргон»;
- ООО «Завод углеродных и композиционных материалов»;

- ООО «Лирсот»;

- ЗАО «ХК «Композит», управляющая организация ЗАО «Препрег-СКМ».

Физико-механические показатели углеродного волокна по различным источникам и нормативной документации приведены в сводной таблице П.1.10.

Значения прочностных характеристик углеродных волокон должны быть не менее приведенных в таблице П.1.10, а также в соответствующих Технических Условиях.

Таблица П.1.10 – Физико-механические характеристики углеродных волокон

Тип волокна	Индекс по ISO	Диаметр волокна в 10^{-3}мм	Площадь поверхности, $м^2$/кг	Длина волокна, мм	Плотность, ρ, кг·$м^{-3}$, при 25 ^{0}С	Линейная плотность, текс	Предел прочности на растяжение в МПа	Удельная прочность, $R/\rho \cdot 10^6$	Модуль упругости в ГПа	Удельный модуль упругости, $E/\rho \cdot 10^8$	Предельная деформация в%	Температура плавления / воспламенения °С	Водопоглощение в% по весу**
Углеродное по данным [4]:													
Углеродные					1750		2500-3500	14,3-20	200-250	11,4-14,3			
Высокопрочные углеродные					1950		2000-2500	10,3-13	350 -380	17,9-19,5			
Углеродное на основе полиакрилонитрила, тип НМ (high-module)		7,62*			1600-1700		2482-3034		379,9		0,6-0,7	400	Отсутствует
Углеродное на основе полиакрилонитрила, тип НТ (high-tensile)		8,89*			1600-1700		3447-3999		230,3		1,0-1,5	400	Отсутствует
Углеродное на основе нефтяных пеков при общей технологии производства, тип GP (General purpose)		9,91-12,95*			1600-1700		483-793		275,80-344,75		2,0-2,4	400	3-7
Углеродное на основе нефтяных пеков с ориентированной структурой, тип HP (High performance)		8,89-17,78*			1800-2150		1517-3103		151,7-482,65		0,5-1,1	500	Отсутствует

Окончание таблицы П.1.10

УВ фибра ООО «ВППК» – Волжская Производст-венно-Промышленная Компания			300				2850		230		0,79	**не плавит-ся/450** * – – 3000******	
Углеродные по ISO/TC 38/SC:	CF												
Карбонизированные					1510-1900				260-700		2,0-3,0		
Графитизированные					1600				430-800		2,0-3,0		
«Фибра углеродная специальной обработки FibARM Fiber C» по СТО 75969440-020-2011				3, 6, 12, 18, 24	1680-1800	8	2850		230		0,79		
Углеродное по данным **[21]**		5...10			1900		2600		230		1,0		
Углеродное по данным **[24]**					1700		1890-3660				1,0		
Углеродное по данным **[28]**					2000		2000-3500		200-250		1,0-1,6		
Углеродное по некото-рым другим источникам					1700-2000		1890-3660		200-250		1,0-1,6		
Карбоновое по дан-ным **[28]**					1630		1200-4000		280-380		2,0-2,2		
* – указан эквивалентный диаметр ** – Согласно стандарту ASTM D570 Standard Test Method for Water Absorption of Plastics *** на воздухе ****инертная среда													

П.1.1.9 Стеклопластиковая фибра [4], получаемая методом пултрузии – протяжки стеклянных нитей через фильеру, нагретую до определенной температуры, при которой осуществляется полимеризация матрицы. Форма фибры – прямая нерегулярная. Длина фибры составляет 40 мм, диаметр до 1,0 мм, модуль упругости порядка 25-50 ГПа, плотность 1500 – 1600 кг/м^3. Фибра должна соответствовать требованиям европейских стандартов EN-14889-2:2006 и EN 14845-1.

П.1.2 Стеклянная фибра (стекловолокно) – волокно или комплексная нить, формуемая из стекла – неорганического аморфного материала, полученного переохлаждением расплава на основе кремнезема (SiO_2).

Дисперсная арматура из стекла, в отличие от синтетической фибры, не обладает гибкостью, может разрушать межпоровые перегородки, взаимодействует со щелочами цемента и не сохраняет размеры и форму после затвердевания смеси.

Прочность стекловолокон на растяжение находится в пределах 1050-3850 МПа, а модуль деформации выше, чем у цементного камня. Температурный коэффициент линейного расширения стекловолокна близок к такому коэффициенту цементного камня.

Стеклянные волокна должны отвечать требованиям ГОСТ 8325-93 (ИСО 3598-86), ГОСТ 17139 и указанных ниже Технических Условий.

Для армирования ячеистого бетона на портландцементе и его разновидностях могут использоваться волокна из щелочестойкого стекла марки СЦ-6 в виде отрезков комплексных нитей рассыпающегося ровинга по ТУ21-38-233-92 «Ровинг рассыпающийся из цементостойкого стекловолокна. Технические условия» и ТУ 21-38-257-90 «Ровинг рассыпающийся РЦР из цементостойкого стекловолокна марки СЦ-6-У. Технические условия». При этом принимается фибра в виде отрезков стекловолокна длиной от 10 мм до 60 мм, изготавливаемая путем рубки:

- ровинга из щелочестойкого (цементостойкого) стекловолокна, выпускаемого по ТУ 21-38-233-92, а также щелочестойкого стекловолокна (Alkali Resistant – AR-Glass) из стекла с высоким содержанием циркония под торговыми марками CEM-FIL (Великобритания) и NEG (Япония) **[1]**.

- ровинга из алюмоборосиликатного (нещелочестойкого) стекловолокна по ГОСТ 17139.

Физико-химические свойства стекла для производства щелочестойкого стекловолокна (AR-Glass) по данным **[4]** приведены в таблице П.1.11а.

Таблица П.1.11а – Физико-механические свойства стекла с содержанием циркония 16,7% и 20% для производства щелочестойкого стекловолокна (AR-Glass).

Свойство	CemFIL AR-Glass	NEG AR-GLass
Плотность, г/см3	2,70	2,74
Прочность при растяжени МПа	2480	2450
Модуль упругости, ГПа	80	79
Относительные деформации при разрыве,%	3,6	2,5

Известно, что стеклянные волокна (в частности, диаметром 10мкм и прочностью $1,8...2,5 \cdot 10^3$ МПа) можно успешно применять для армирования гипсового камня, среда которого является для них инертной. В соответствие с этим, фибра из нещелочестойкого (алюмоборосиликатного) стекловолокна может использоваться в случаях армирования ячеистого бетона на основе портландцемента с добавкой гипса на ограниченный срок службы при соответствующем обосновании.

К мероприятиям, предохраняющих разрушение стеклянных волокон в бетоне от коррозии можно отнести использование в бетоне глиноземистого цемента, добавки гипса или микрокремнезема в бетон, связывающие щелочи.

Однако при длительном нахождении во влажной среде алюмоборосиликатное (нещелочестойкое) стекловолокно корродирует и в глиноземистом цементе. Поэтому целесообразным может быть использование добавки доменного шлака и золы. Как показывает зарубежный опыт, коррозионное действие щелочной среды композиций с добавкой доменного шлака и зол, в которых преобладают соединения Al_2O_3 и SiO_2, на стекловолокно меньше, чем в традиционных композициях, в которых преобладают кальциевые соединения.

Одним из путей устранения указанных недостатков является применение волокон из щелочестойкого стекла с большим содержанием циркония, как, например, отечественное цирконийсодержащее щелочестойкое стекловолокно марок Щ-15-ЖТ, СЦ-6 (по указанному выше ТУ 21-38-233-92) и др.

При экспериментальном и экономическом обосновании и согласовании с НИИЖБ возможно применение фибр из стеклянного волокна со специальными защитными покрытиями.

В Приложении 2 приведены результаты испытаний стекловолокна различных марок в агрессивных средах, проведенных в НИИЖБ **[1]**.

Длина фибры принимается в зависимости от вида технологического оборудования по приготовлению и укладке стеклофибробетонной смеси и может отличаться от указанной по ТУ 21-38-257-90 величины и иметь длину 20... 40 мм. В отечественной практике для армирования бетона используется выпускаемое НПО «Стекло» указанное выше щелочестойкое стекловолокно марки СЦ-6, которое изготовляется в виде непрерывных волокон диаметром 10–15 мкм. Данные волокна в количестве 100–40 шт. склеиваются полимером в комплексные нити, которые собираются в жгуты-ровинги, состоящие из 14 и более нитей. Ровинг поставляется на бобине (весом 10 кг), который рубится специальными пистолетами – наполнителями или другим оборудованием на отрезки длиной 20–40мм. В процессе рубки и перемешивания с бетоном ровинг распадается на отрезки отдельных волокон.

Известно, что дисперсная арматура из стекла, в отличие от синтетической фибры, не обладает гибкостью и в некоторых случаях разрушает межпоровые перегородки, не сохраняет размеры и форму после затвердевания смеси [16]. Тем не менее, имеются примеры успешного применения стеклянной фибры в ячеистом бетоне. В частности, для упрочнения ячеистой смеси на микроуровне применялась фибра в виде щелочестойкого стеклянного волокна диаметром 15–35 мкм и длиной 12–15 мм с прочностью на разрыв до 3800 МПа. В отличие от полипропиленового волокна (по прототипу), стеклянные волокна отличаются пониженной растяжимостью и лучшей адгезией к цементному камню, что приводило к значительному росту прочностных характеристик при сжатии и растяжении.

Щелочестойкое стекловолокно в виде отрезков длиной 2–3 см использовалось в качестве дисперсно-армирующего материала, как в газобетоне, так и в пенобетоне (Патент Российской Федерации RU2123484).

Щелочестойкое стекловолокно волокно длиной 15 и 30 мм применимо в жаростойком пенобетоне.

Оптимальную длину стеклянного волокна в ячеистофибробетонных изделиях можно рекомендовать в диапазоне 15–40 мм. Имеются соответствующие этому экспериментальные данные, полученные при испытании газобетона плотностью D600-D700 с фиброармированием стекловолокном в количестве 5% от массы сырьевых компонентов.

В Германии имеется опыт изготовления стеклофибробетонных изделий с применением стекловолокна длиной 6–24 мм и диаметром 14–20 мкм при содержании волокна 2% по массе.

Известны случаи применения стекловолокна длиной 6–50 мм и диаметром 9–20мкм при рациональном его содержании в стеклофибробетоне в пределах 1,2–5%.

Рекомендуется также применять микроармирующее волокно в виде стекловаты, которую можно вводить в состав сырьевой ячеистобетонной смеси. В частности, для дисперсного армирования жаростойкого фибропенобетона для условий эксплуатации при температуре до 1150 °С рекомендуется использовать муллитокремнеземистую вату по ТУ 9300-002-00126238-99 с содержанием Al_2O_3 – 55%, производства ООО «Станкопромышленная компания» (г. Челябинск), предназначенную для теплоизоляции и изготовления теплоизоляционных изделий.

Добавку стекловаты можно применять при фиброармировании цементной матрицы безавтоклавного газошлакозолосиликата в целях увеличения его прочности на растяжение.

В соответствии с [12] для стеклофибробетонных изделий применялась фибра из минеральной ваты местных заводов в Волгоградской области, по своему химическому составу близкой к бесщелочному стеклу с модулем кислотности Мк ~ 2,7 ~> 1,4; силикатным модулем $S_iO_2/Al_2O_3 \sim 4{,}25 > 3$ со следующими характеристиками: диаметр 10–15 мкм, длину 0,5–12 мм, прочность при разрыве 400–800 МПа, модуль упругости $E_ф$ = 80 – 210 ГПа, сцепление с бетоном 1,6–2,3 МПа. Оптимальное количество вводимых в бетон минеральных волокон принималось 10% от массы цемента. При бóльшем содержании волокон смесь теряла подвижность и требовалось введение пластификаторов или дополнительного количества воды, что, в свою очередь приводило к снижению прочности бетона.

При использовании фиброармирования волокнами минеральной ваты (l = 10…15 мм, d = 0,5…12 мкм) при проценте армирования μ = 10% от массы цемента трещиностойкость изгибаемых элементов повышается на 27…30%.

Физико-механические показатели стеклянных волокон и нитей по различным источникам и нормативной документации приведены в сводных таблицах П.1.11а, П.1.11б и П.1.12.

Значения прочностных характеристик стеклянных волокон и нитей должны быть не менее приведенных в таблицах П.1.11а, П.1.11б и П.1.12, а также в соответствующих ГОСТ и Технических Условиях.

Таблица П.1.11б – Физико-механические характеристики стеклянных волокон

Тип волокна	Индекс по ISO	Диаметр волокна в 10^{-3}мм	Длина волокна, мм	Плотность, ρ, кг·м$^{-3}$, при 25 ^{0}С	Предел прочности на растяжение в МПа	Удельная прочность, $R/\rho \cdot 10^8$	Модуль упругости в ГПа	Удельный модуль упругости, $E/\rho \cdot 10^8$	Предельная деформация в%	Процент армирования	Сцепление с бетоном, МПа
Стеклянные по ISO/TC 38/SC	GF										
Алюмоборосиликатные типа Е				2540-2580			65-75		3,5		
Кварцевые							50-70		3,0		
Щелочестойкое стекловолокно марки СЦ-6 по ТУ 21-38-233-92 и ТУ 21-38-257-90,		**10-15**	**10...40**		1050-3850					До **5%** от массы сырьевых компонен-тов газобе-тона	
Стеклянные по данным **[4]**											
Стекло Е				2550	3 515	13,8	73, 82	2,897			
Стекло S				2490	4 920	19,74	87, 89	3,525			
Стекло щелочестойкое по данным **[2]**				2700	1400-3500		63-90		0,3-0,4		
Стекло по данным **[2]**				2500	1050 –3850		56-70		0,15-3,5		
Стеклянное по данным **[21]**		8...100		2600	2000...4000		70...80		0,5...2,7		
Стекло Е по данным **[24]**				2500	1050-3850				1,5-3,5		
Стекло щелочестойкое по данным **[24]**			15, 30	2700	1400-3500				3-4		

Окончание таблицы П.1.11б

Стеклянное по данным **[28]**				2600	1800-3850		7-8		1,5-3,5		
Щелочестойкое стеклянное		15-35	12-15		3800						
Щелочестойкое стекловолокно (Патент Российской Федерации RU2123484)			20-30								
Фибра из нещелочестойкого (алюмоборосиликатного) стекловолокна по ГОСТ 17139 для армирования ячеистого бетона на основе портландце-мента с добавкой гипса		10			1800-2500				3-4		
Стекло-минеральная вата по данным **[12]**		10-15	0,5-12		400-800		80-210			10% от массы цемента	1,6-2,3

Таблица П.1.12 – Физико-механические характеристики стеклянных нитей

Тип нити, ровинга	Диаметр элементар-ной нити, мкм	Удельная разрывная нагрузка, мН/текс (гс/текс)	Предел проч-ности на растя-жение в МПа
Нити крученые крмплексные по ГОСТ 8325-93 (ИСО 3598-86)	3	610 (62)	1557
	4	610 (62)	1557
	5	610 (62)	1557
	6	590 (60)	1507
	7	470 (48)	1205
	9	410 (42)	1055
	10	370 (38)	954
	13	300 (31)	779
	14	250 (25)	628
ГОСТ 17139 «Стекловолокно. Ровинги. Технические Условия» Стекло типа Е			
		396 (40)	1005
Стекло типа R	10	559 (57)	1431
	13	480 (49)	1231
	19	431 (44)	1105
Стекло типа S	10	571 (58)	1457
	13	490 (50)	1256
	19	441 (45)	1130

П.1.3 Минеральная фибра *(*базальтовая, асбестовая, хризотиласбестовая).

Минеральные волокна получают из расплавов шлаков и горных пород или непосредственно при механической обработке минералов (асбест). Данные химического анализа используемых минеральных волокон для применения их в качестве армирующего компонента ячеистобетонной смеси, свидетельствуют о том, что в их составе находится минимальное количество ионов щелочных металлов – калия и натрия. Наличие этих ионов определяет щелочестойкость материала и склонность к выщелачиванию, так как они способны замещаться ионами Ca2+, находясь в среде насыщенной кальциевой составляющей – твердеющего портландцемента.

Использование минерального волокна рекомендуется для пенобетонов малых плотностей. Диаметр единичного волокна может быть от 20 до 400 мкм, длина – от 6 до 24мм.

Базальтовое волокно

Одним из эффективных разновидностей минеральных волокон для дисперсного армирования бетонов является базальтовое волокно, по химической стойкости в бетоне уступающее только дорогостоящему стекловолокну на основе циркониевого стекла.

Базальтовая фибра – это натуральное волокно, полученное из природного минерала. Базальтовое волокно химически инертно и обладает хорошей адгезией к бетону, не вступает в реакцию с солями и щелочами.

Базальтовое волокно – светлокоричневого цвета, блестящее, толщиной 23мкм. Результаты исследований, проведенных в НИИЖБ **[1]**, свидетельствуют, что после пребывания в щелочной среде (NaOH) (0,5Н) волокно претерпевает незначительные изменения с изменением цвета (матовое), без изменения толщины волокон. Потеря массы составляет 3,2%. После пребывания в кислотной среде (H_2SO_4) (0,5Н) волокна претерпевают значительное изменение с раздроблением и превращением в порошок. Потеря массы составляет 25%.

Исследования армирования цементного камня незащищенными стеклянными, кварцевыми, циркониевыми и базальтовыми волокнами показали, что наибольшей устойчивостью в щелочной среде цемента обладают циркониевые и базальтовые волокна.

В соответствии с результатами других исследований, проведенных в НИИЖБе **[6]**, базальтовое волокно, находящееся в цементно-песчаной матрице, не изменяется и не влияет на снижение прочности базальтофибробетона. Выполненный в работе **[6]** рентгеноспектральный анализ и электронноскопическое исследование базальтофибробетона после температурно-влажностной обработки и выдержки в среде 1н NaCl при различных температурах выявили наличие продуктов новообразований на поверхности базальтовых волокнах в результате их взаимодействия с цементно-песчаной матрицей. В поверхностном слое базальтового волокна были выявлены качественные и количественные изменения состава волокна, в отличие от его массива, где изменений состава не обнаружено. Было установлено, что в результате протекающих физико-химических процессов изменяется состав и структура поверхностного слоя волокна, а образующиеся низкоосновные гидросиликаты кальция создают на поверхности плотный слой новообразований. В то же время, автором работы было доказано положительное влияние модификатора МБ 10-01 на состояние поверхностного слоя базальтового волокна – использование данного модификатора снижает количество дефектов на его поверхности после перемешивания.

Базальтовое волокно имеет прочность в пределах 1600-3600 МПа. В связи с более высокой термической стойкостью, чем у стекловолокна, армирование бетона базальтовым волокном может быть более эффективным в жаростойких и огнеупорных бетонных конструкциях.

В г. Судогда (Владимирская область) освоен массовый выпуск ровинга из базальтового волокна диаметром 13–17 мкм и длиной 6–12 мм.

Минеральные волокна получают из расплавов шлаков и горных пород или непосредственно при механической обработке минералов (асбест).

Базальтовое волокно химически инертно и обладает хорошей адгезией к бетону, не вступает в реакцию с солями и щелочами.

Наиболее распространены два типа материала: микрофибра базальтовая модифицированная (МБМ) и рубленое волокно.

МБМ получается путем пропитки измельченной минеральной ваты, производимой из расплава базальтовых пород. МБМ термоустойчива вплоть до 300 °С. Рекомендуемое содержание – 1,5–20% от массы цемента.

Базальтовое рубленое волокно (чопсы) производится методом рубки базальтового ровинга на волокна заданной длины.

Базальтовая фибра выпускается по ТУ 5952-036-05328981 (производитель – ОАО 47 «Ивотстекло»).

Базальтовое грубое волокно марки БГВ-150, ранее изготавливаемое по Техническим Условиям (Украина), имело следующие характеристики:

- диаметр волокна 80…150 мкм при среднем значении 115 ±35 мкм;

- длина волокна 75±25 мм;

- прочность на разрыв 200 МПа.

Оптимальный расход базальтового волокна длиной 6мм составляет 0,5–1,0кг на $1м^3$.

Для ячеистого бетона теплоизоляционного назначения (по результатам исследований в Томском политехническом университете **[14]**, **[11]**) может быть использовано базальтовое тонкое волокно (БТВ) диаметром 10–80 мкм и супертонкое волокно (БСТВ) диаметром 0,5–2,5 мкм и длиной 3–5 мм. Эти волокна равномерно распределяются по всему объему газобетонной смеси и заметно стабилизируют процесс ее поризации.

Сырьем для производства базальтового волокна на Томском заводе минераловатных изделий ООО «Томскизоляция» является диабаз Барзасского месторождения Кемеровской области.

В качестве армирующего материала (по данным исследований в Беличском научно-производственном объединении «Теплозвукоизоляция» Минэнерго СССР [13]) применялось рубленое базальтовое волокно диаметром 16мкм длиной 10–12мм, полученное из базальта Берестовецкого месторождения (Ровенская обл.). Такие волокна имели прочность на растяжение до 2000МПа и превосходили по модулю упругости стеклянные волокна алюмоборосиликатного состава в 1,5 раза.

Оптимальное количество базальтовых волокон может составлять 5% от массы вяжущего, при котором образцы имеют наибольшую прочность. Меньшая прочность образцов, содержащих 7 и 10% волокон, обусловлена необходимостью увеличения водотвердого отношения при формовании, так как повышение армирующих волокон сопровождается увеличением водопотребности цементного теста.

Диапазон значений диаметра базальтовых волокон, при котором увеличивается трещиностойкость изгибаемых элементах (на 27…30%), может составлять 12…20 мкм.

При изготовлении ячеистобетонной смеси может быть использован смеситель принудительного действия, при этом микрофибра базальтовая модифицированная (МБМ) добавляется в сухую смесь непосредственно перед добавлением жидких компонентов. Время перемешивания – не менее 10 мин. Рубленое волокно также сначала смешивается с сухими компонентами, а затем добавляется вода в количестве, необходимом для получения теста нормальной густоты.

Физико-механические показатели базальтовых волокон по различным источникам и нормативной документации приведены в сводной таблице П.1.13.

Значения прочностных характеристик базальтовых волокон должны быть не менее приведенных в таблице П.1.13, а также в соответствующих Технических Условиях.

Таблица П.1.13 – Физико-механические характеристики базальтовых волокон

Тип волокна	Диаметр волокна в 10^{-3}мм	Длина волокна, мм	Плотность, ρ, кг·м$^{-3}$, при 25 ^{0}С	Насыпная плотность, кг/м^3	Предел прочности на растяжение в МПа	Модуль упругости в ГПа	Предельная деформация в%	Диапазон рабочих температур, °С	Термоустойчивость, С^o	Влажность по массе,%	Процент армирования, дозировка	Сцепление с бетоном, МПа
Микрофибра базальтовая модифицированная (МБМ) по данным **[28]**	8–10	0,1–0,5		800		18			до 300°С	2,0	1,5–20% от массы цемента	
Микрофибра базальтовая, модифицированная астраленами (0,0001-0,01%) «Астрофлекс – МБМ» **[17]**	8-10	0,1-0,5		800								
Микрофибра базальтовая «MAGMA MICROFIBER» пр-ва ООО Магма Индустрия» по данным **[9]**	Не более 2	0,025-0,12		30-125				**–269...+900**		0,8	0,1; 0,2; 0,3% от массы сухих компонентов	
Базальтовая фибра по ТУ 5952-036-05328981	(9;13; 17)±1, 5	(3; 6;13; 15; 18; 25; 27; 50)±1,5				89,27-107,91				не более1, 0		
Тонкое базальтовое волокно по ТУ 5952-036-05328981-2004 производства ОАО «Ивотсте-кло» в виде отрезков базальто-вого ровинга, изготовленного из базальта Украинского месторождения по данным **[6]**.	11-13 мкм	10,15,20 мм	2800		1500-2000	93,2-116,0					6% от массы вяжуще-го для волокна длиной 15 мм	

Окончание таблицы П.1.13

Базальтовое тонкое (БТВ) пр-ва Томского завода минераловатных изделий ООО «Томскизоляция» по данным **[14]**, **[11]**	10-80	3-5										
Базальтовое супертонкое волокно (БСТВ) пр-ва ООО «Томскизоляция» по данным **[14]**, **[11]**	0,5-2,5	3-5										
Базальтовое рубленое волокно (чопсы)	13, 17	6; 12; 18; 24						– **260...+700**		1,0	0,5-1,0 кг/м^3	
Базальтовое волокно по данным **[20]**	18	12,0	2600		1600-3600	80-110	1,4-3,6					
Базальтовое волокно по данным **[28]**		12	2600–2700		1600-3200	7-11	1,4-3,6				0,2% от массы цемента	
Рубленое базальтовое волокно из базальта Берестовецкого месторождения (Ровенская обл.) по данным **[13]**.	16	10-12			2000						5% от массы вяжущего	
Базальтовое грубое волокно марки БГВ-150 по Техническим Условиям (Украина)	80-150	75±25			200							
Минеральная вата	0,5-12	10-15			400-800	80-210					10%от массы цемента	1,6-2,3

Асбестовое волокно

В качестве армирующей добавки в пенобетонах неавтоклавного твердения рекомендуется при соответствующем научно-техническом обосновании использовать хризотиловое (хризотил-асбест) волокно. Эти волокна отличаются малой длиной и трудностью распушки. Хризотиловое волокно играет активную роль в процессе гидратации цемента, что улучшает физико-механические характеристики цементного камня. Перед добавлением в ячеистобетонную смесь хризотил-асбест нужно распушить для равномерного распределения в объеме.

При этом, следует иметь в виду, что отсутствие решения проблемы закрытия секущихся концов волокон асбеста затрудняет более широкое применения асбестовых волокон в армировании ячеистого бетона [29].

Асбест, хризотиласбест – группа тонковолокнистых минералов из класса силикатов.

Асбестовые волокна обладают рядом ценных свойств: высокой прочностью и огнестойкостью, стойкостью к агрессивным воздействиям щелочей, долговечностью.

Хризотиловое волокно характеризуется высоким сцеплением с цементным камнем.

Согласно п.2.6. СН 277-80 в качестве волокнистой добавки следует применять асбест 5-го и 6-го сортов, удовлетворяющий требованиям ГОСТ 12871-2013 «Асбест хризотиловый. Хризотил».

Хризотил 0, 1-й и 2-й групп по средней длине, массовой доле волокна длиной менее 5 мм и менее 0,5 мм должен соответствовать требованиям ГОСТ 12871-2013.

Хризотил-асбест марок (по фракционному составу) А-6-50, А-5-70 и А-6К-30 по ГОСТ 12871-2013 «Асбест хризотиловый. Хризотил» производится «ОАО НИИпроектасбест» (г. Асбест).

Дисперсное армирование теплоизоляционного ячеистого бетона плотностью 150–200 кг/м^3 (по данным исследований ГП «Института НИИСМ» и ОАО «Сморгоньсиликато-бетон» **[30]**) можно осуществлять с использованием сухих отходов асбестоцементного производства. Введение до 12–30% асбестоцементных отходов в состав известково-песчаного вяжущего позволяет повысить прочность ячеистого бетона при изгибе в 1,8–2,2 раза. Однако из-за непостоянного состава данных отходов использовать их в производственном процессе сложно, а применение волокнистого асбеста в настоящее время ограничено. По этой причине в качестве армирующего компонента был использован волластонит марки Casiflux F75 насыпной плотностью – 450 кг/м3. Количество добавки волластонита – 2–3% от массы сухих компонентов.

Химический состав волластонита: CaO – 44,5%, SiO_2 –53%, Fe_2O_3 – 0,16%, Al_2O_3 – 0,8%, MgO – 0,6%.

Для волластонита характерна игольчатая структура кристаллов с отношением длины волокна к его диаметру (L/d) от 3:1 до 20:1.

Волластонит Чейского месторождения (Алтайский край, рудник «Веселый») [3] насыпной плотностью 950 кг/м^3 и длиной волокон от 1 до 4мм можно рекомендовать при изтовлении изделий теплоизоляционного назначения. При этом общее количество волокон продолговатой игольчатой формы с указанной выше длиной в общей массе измельченного волластонита должно быть не менее 80%. Добавка измельченного волластонита в ячеистобетонную смесь может вводиться в количестве 6 и 12% от массы цемента.

Добавку волластонита рекомендуется подавать в смеситель сразу после цемента. Рекомендутся применять бетоносмеситель принудительного действия лоткового типа с горизонтальным валом.

В качестве фибрового армирования конструкционно-теплоизоляционного ячеистого бетона могут применяться также распущенные отходы отработанных штучных термоизоляционных материалов (Патент РФ №2082698) типа известково-кремнеземистых изделий, содержащих минеральные волокна взамен микронаполнителя и молотого песка, введение которых в состав ячеистобетонной смеси может увеличивать трещиностойкость на 27...30%. Сырьевая смесь согласно (Патент РФ №2082698) состоит из следующего соотношении компонентов по массе: портландцемент – 60%; молотая негашеная известь – 34%; алюминиевая пудра – 0,1-0,3%; распушенные отходы термоизоляционных материалов – 34,9- 59,7%.

В настоящее время применение асбеста сдерживается жесткими требованиями к санитарно-гигиеническим условиям производства.

Физико-механические показатели асбестовых волокон по различным источникам и нормативной документации приведены в сводной таблице П.1.14.

Таблица П.1.14 – Физико-механические характеристики асбестовых волокон

Тип волокна	Диаметр волокна в 10^{-3}мм	Длина волокна, мм	Плотность, ρ, кг·м$^{-3}$, при 25 ^{0}С	Насыпная плотность, кг/м^3	Предел прочности на растяжение, МПа	Модуль упругости в ГПа	Степень распушки, кПа (мм.рт.ст.)	Предельная деформация в%	Процент армирования
Хризотиласбестовые волокна по ГОСТ 12871-2013		7,5; 8,0; 8,5; 10,5; 12,5; 13,0; 13,7		320; 300; 370; 450; 520			40 (300), 77 (580)		
Хризотиласбестовые волокна по ГОСТ 12871-2013 марки АК (асбест кусковой)		не менее 18мм							
Хризотил-асбестовые волокна по **[20]**	28	1,35	2600		910-3100	68		0,5-0,7	
По данным **[21]**	0,2...0,4		2600		3100	164		2,0-3,0	
Асбестовые волокна по данным **[2]**			2900		560-980	84-140		0,6мм/м	
Асбестовые волокна по данным **[28]**			2600		910-3100	68-70		0,6-0,7	
Асбестовые волокна по некоторым другим источникам			2600-2900		560-3100	68-70		0,6-0,7	12-30%
Волластонит марки Casiflux F75 по **[30]**				450					2-3 % от массы сухих компонен-тов
Волластонит «Чейского» месторождения (Алтайский край, рудник «Веселый») **[3]**		1-4		950					6 и 12% от массы цемента

Значения прочностных характеристик асбестовых волокон должны быть не менее приведенных в таблице 4.14, а также в соответствующих Технических Условиях.

П.1.4 Натуральная органическая фибра

Органическую фибру натурального происхождения получают из растительных волокон.

Химически переработанное исходное сырье имеет вид целлюлозных волокон, которые могут иметь длину 0,2–0,5 мм или 1,0 мм. Длина натуральных органических волокон может составлять также от 20 до 500 мм. Размеры сечений волокон могут меняться в широком диапазоне (как правило, от 0,1 до 0,8 мм) и не быть постоянными даже в пределах одного волокна.

Сизалевые волокна, полученные из восстановленного вторичного сырья природного происхождения могут иметь длину от 0,2 до 1,0 мм.

Органические волокна резко снижают прочность при нагревании уже до 150 °С.

Органическое волокно без предварительной обработки в условиях эксплуатации может подвергаться увлажнению, поражению грибками и загниванию.

Количество низкомодульных волокон микроцеллюлозы, при котором установлено положительное влияние на физико-механические характеристики автоклавного дисперсно-армированного газобетона различной плотности, рекомендуется (по данным исследований **[5]**) принимать от 0,5 до 2,5% от массы вяжущего с учетом модифицирующей добавки аморфного кремнезема от 0,5 до 1,5%.

Полиэфирные, полиамидные и триацетатные волокна, обладающие максимальной прочностью сцепления с цементным камнем, не способны сохранять свои физико-механические свойства при автоклавной обработке, так как склонны к термическому распаду уже при температурах порядка 800С°. Стекловолокно в свою очередь может выщелачиваться в высокощелочной среде кремнеземистого вяжущего на этапах формования изделий, а асбестовое волокно из-за высокой плотности агломераций не позволяет получить равномерную поровую структуру газосиликата. Поэтому для автоклавного ячеистого бетона предпочтительнее использовать волокна на основе целлюлозы.

Введение целлюлозных волокон приводит к снижению усадки в два раза. Но при этом, в отличие от полипропиленовых и акрилонитрильных волокон, целлюлозные волокна повышают водопоглощение и снижают прочность сцепления.

Важным моментов является модуль волокна – т.е. отношение его длины к диаметру. Высокомодульные волокна в скоростных смесителях, применяемых при производстве газобетонов, склонны к агломерации и неравномерному распределению по объему смеси. В связи с этим предпочтение при производстве газобетонов должно быть отдано низкомодульным волокнам – т.е. микроцеллюлозе.

В зависимости от вида исходного материала и способа изготовления фиброгазобетона в соответствии с рекомендациями [5] могут быть различные значения параметров и, как следствие, различные дозировки и способы применения целлюлозных волокон.

Для изготовления автоклавного ячеистого фиброгазобетона (по данным исследований в ГП «НИИСМИ» [8] может быть применена дисперсная арматура из продуктов растительных полимеров – волокон чистой нерастворимой целлюлозы. Данные волокна длиной 0,2 – 0,5 мм и 1,0 мм (стойкие в средах с pH от 4 до 12) получены из восстановленного вторичного сырья природного происхождения, имеют прочность на разрыв свыше 500 МПа, модуль упругости не менее 35 ГПа, теплостойкость 190 °С, щелочестойкость до pH 12. Волокна рекомендуется вводить в количестве 0,1–0,3%.

В процессе автоклавирования химически обработанные целлюлозные волокна не подвергаются разрушающему воздействию щелочной среды твердеющего бетона и не замедляют процесс твердения и набора прочности бетонной матрицы, так как в процессе очистки из целлюлозных волокон была удалена большая часть лигнина и хемицеллюлозы, являющихся ингибиторами твердения цемента.

Волокна целлюлозы в качестве армирующей добавки в количестве 0,5–1,5% могут вводиться в сухие смеси. Наиболее используемые волокна Technocel 1000 и Technocel 2500 (L = 1000, 2500 мкм; d = 25 мкм, γ_o = 1300 кг/м^3). По структуре волокна Technocel представляют собой трехмерный структурный каркас с крепким крестообразным соединением элементов.

В работе [23] приводятся рекомендации Сычевой А.М. (Патент РФ №2422408, 2011 г.) о возможности введения в пенобетонную смесь в качестве дисперсной арматуры древесной фибры. Согласно [23] введение 1% древесной фибры позволяет получать фибропенобетон плотностью 600 кг/м^3, прочностью при сжатии 2,4 МПа, при изгибе – 1,1 МПа. Фибропенобетон плотностью 800 кг/м^3 с 10% древесной фибры характеризуется прочностью при сжатии 4,6 МПа, при изгибе – 2,1 МПа.

Волокна из хлопковых и вискозных нитей используются в зарубежном производстве текстильбетонов. В последние годы в зарубежном строительстве нашел применение текстильбетон – бетон, армированный тканями и сетками из хлопкового, вискозного и других волокон.

В США выпускается целлюлозно-полимерная фибра Buckeye Ultra Fiber 500, армирование которой при расходе 0,9 кг на 1м^2 бетона на 80% предотвращает образование трещин и повышает другие физико-технические свойства бетона.

Физико-механические показатели целлюлозных волокон и нитей по различным источникам и нормативной документации приведены в сводных таблицах П.1.15 и П.1.16.

Значения прочностных характеристик натуральных волокон и нитей должны быть не менее приведенных в таблицах П.1.15 и П.1.16, а также в соответствующих Технических Условиях.

Таблица П.1.15 – Физико-механические характеристики натуральных, органических волокон

Тип волокна	Индекс по ISO	Диаметр волокна в 10^{-3}мм	Длина волокна, мм	Плотность, ρ, кг·м$^{-3}$, при 25 ^{0}С	Относительная прочность, P_p, сН текс$^{-1}$	Предел прочности на растяжение в МПа	Модуль упругости в ГПа	Предельная деформация в%	Процент армирования, расход	Теплостойкость, С^o
Гидратцеллюлозное по ISO/TC 38/SC				1510÷1580						
Волокна обычные вискозные	CV			1509÷1534	16-20	243-304	2,0-2,4	19-26		
Волокна полинозные	CMD			1517-1559	36-40	554-615	3,0-4,4	7-11		
Целлюлозное (по данным **[21]**)		20...1000		1200		300...500	10,0	10...15		
Сизалевое		10...50		1500		800	–	3,0		
Древесное		50...2000		1500		900	71,0	13...15		
(Хлопковые и вискозные) волокна по данным **[28]**										
Вискозное сверхпрочное				1200		660-700	5,6-5,8	14-16		
Хлопковое				1500		420-700	4,9-5,1	3-10		
Вискозные волокна, применяемые для изготовления шинного корда по данным **[24].**				1100-1500		660	5,6	13,5±1,5		
Низкомодульные волокна микроцеллюлозы по данным **[5]**									от 0,5 до 2,5% от массы вяжущего	

Окончание таблицы П.1.15

Целлюлозные волокна из восстановленного вторичного сырья природного происхож-дения. **[8]**			0,2 – 0,5; 1,0			Свыше 500	не менее 35		0,1-0,3 от массы сухих компонен-тов	190
Волокна Technocel 1000 и Technocel 2500		25	1; 2,5	1300						
Целлюлозно-полимерная фибра Buckeye Ultra Fiber 500 пр-ва США									0,9 кг на 1м^2 бетона	

Таблица П.1.16 – Физико-механические характеристики натуральных, органических нитей

Наименование нити	Индекс по ISO	Толщина нити, мм	Плотность, ρ, кг·м$^{-3}$,при 25 ^{0}C	Относительная прочность, $P_р$, сН·текс$^{-1}$ (МПа)	Предел прочности на растяжение в МПа	Разрывная нагрузка нити, Н	Удлинение при разрыве, ε,%	Модуль упругости, Е, ГПа, при 25^{0}C
Гидратцеллюлозные по ISO/TC 38/SC			1510 ÷1580	–			–	–
Технические нити ISO/TC 38/SC	CMD		1527-1556	34-51	**524-786**		10-15	5,3-10,0
Кордные нити из промышленных отходов по данным **[24]**		0,67	1100-1500			165-170	13,5±1,5	5,6

ПРИЛОЖЕНИЕ 2 (справочное)
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ СТЕКЛОВОЛОКНА
(по данным [1])

Алюмоборосиликатное (нещелочестойкого) волокно марки РБТ 13-1680 (замасливатель – парафиновый) белого цвета, блестящее, толщиной 15–23 мкм. После пребывания в дистиллированной воде происходит утолщение некоторых волокон до 30 мкм. После пребывания в щелочной среде (NaOH) (0,5Н) на отдельных волокнах повляются трещины, потеря массы составляет –5%, толщина волокон доходит до 30 мкм. После пребывания в кислотной среде (H_2SO_4) (0,5Н) происходит разрушение волокн, потеря массы составляет –25%.

Щелочестойкое волокно марки Щ15-ЖТ грязно-белого цвета, толщиной 15–22мкм. После пребывания в щелочной среде (NaOH) волокно подвергается значительному разрушению и распадается на мелкие частицы. Потеря массы составляет 2,1%. После пребывания в кислотной среде (H_2SO_4) (0,5Н) волокно также подвергается разрушению. Потеря массы – 1,9%.

Высокомодульное волокно марки РВМДН-13-1200 с замасливателем 76 – блестящее, толщиной 15–23 мкм. После пребывания в щелочной среде (NaOH) увеличивается хрупкость волокон, в результате чего они дробятся и появляются трещины. Толщина некоторых волокон становиться 8 мкм. Потеря массы – 4,2%. После пребывания в кислотной среде (H_2SO_4) волона не претерпевают видимых изменений без трещин. Потеря массы – 2,6%.

Высокомодульное волокно марки ВМД-16-100 – в пучке, белого цвета, блестящее, толщиной 100мкм, имеет повышенную хрупкость, раздроблено на мелкие осколки. После пребывания в щелочной среде (NaOH) волокно меняется только внешне с помутнением отдельных волокон, без трещин. Потеря массы 3,3%. После пребывания в кислотной среде (H_2SO_4) трещин не образуется, толщина волокон сохраняется. Потеря массы – 1,5%.

Высокомодульное волокно марки ВМП-13-700 – белого цвета, блестящее, толщиной 23 мкм. После пребывания в щелочной среде (NaOH) в волокнах появляютя трещины, а в растворе – хлопья. Толщина волокон сохраняется. Потеря массы – 3,1%. После пребывания в кислотной среде (H_2SO_4) трещин не образуется, толщина волокон сохраняется. Потеря массы – 1,4%.

Приложение 3 (справочное)

ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЕЙ

П.3.1 Белковые пенообразователи

Белковые пенообразователи предназначены для производства пенобетона классическим методом, а также методом сухой минерализации. То есть, для работы с этими пенообразователями в наличии должен быть пеногенератор, либо миксер.

Пенобетон, изготовлен на белковых пенообразователях всегда будет на 10-20% прочнее, нежели пенобетон, сделанный на синтетической пене. Это обусловлено наличием белка, который сам по себе является вяжущим.

Традиционные пенообразователи

В качестве традиционных пенообразователей, приготавливаемых непосредственно в производственных условиях по данным «Рекомендаций по изготовлению и применению изделий из неавтоклавного ячеистого бетона». (НИИЖБ Госстроя СССР, М., 1986.) применяются: **смолосапониновый, ПО-6 (гидроизолированная кровь ГК), клееканифольный.** Основой пенообразователей (порообразователей) являются:

костный клей – по ГОСТ 2067;

мездровый клей – по ГОСТ 3252;

сосновый канифоль – по ГОСТ 19113;

едкий технический натр — по ГОСТ 2263;

Соотношения между компонентами традиционных пенообразователей должны быть следующие:

смолосапониновый:

- мыльный корень – 1 мас.ч.;
- вода – 10 мас.ч.;
- ПО-6: боенская кровь – 1 мас.ч.;
- едкий натр по ГОСТ 2263 – 0,02 мас.ч.;
- хлористый аммоний по ГОСТ 3773 – 1,35 мас.ч. от массы едкого натра; сернокислое железо (15%-ный раствор) по ГОСТ 4146 – 0,3 мас.ч.;

клееканифольный:

- канифоль сосновая по ГОСТ 19113 – 1 мас.ч.;
- едкий натр (16%-ный раствор) по ГОСТ 2263 – 1 мас.ч.;
- клей мездровый по ГОСТ 3252 (или костный по ГОСТ 2067 – 1,45 мас.ч.);
- вода – 10 мас.ч.

Для приготовления **смолосапонинового пенообразователя** применяют мыльный корень и воду.

Операции приготовления:

а) размельчение мыльного корня;

мыльный корень лучше всего размельчать в дробилках или мельницах. После дробления корень просеивают через сито с отверстиями 1-2 мм. Остаток на сите подвергают вторичному помолу;

б) замачивание мыльного корня в воде;

для извлечения из мыльного корня пенообразующих веществ его помещают в металлический бак, заливают водой п соотношении 1:10 (по массе) и оставляют на 48 ч. Полученную жидкость (водный раствор сапонина) выливают, а мыльный корень используют для следующих операций;

в) кипячение мыльного корня при температуре 100 °С;

вымоченный мыльный корень в том же баке вновь заливают водой до прежнего уровня, и смесь кипятят до получения жидкости плотностью не менее 1,01 г/см3. В процессе кипячения по мере испарения воды в бак доливают воду, чтобы уровень ее был постоянным. Эту жидкость (водный раствор смоляного экстракта выливают во второй бак, а проэкстрагированный мыльный корень выбрасывают;

г) замачивание мыльного корня в смоляном экстракте;

во второй бак с водным раствором смоляного экстракта закладывают новую порцию молотого мыльного корня. Соотношение мыльного корня и смоляного экстракта должно быть 1:10 (по массе). Вымачивание новой порции мыльного корня продолжается до получения жидкости с плотностью не менее 1,02 г/см^3. Полученный смолосапониновый пенообраэователь сливают в третий бак для хранения готового пенообразователя, а вымоченный мыльный корень перекладывают в первый бак, и процесс повторяют.

Для приготовления **пенообразователя ПО-6 (гидролизованная кровь ГК)** применяют техническую боенскую кровь, едкий натр, сернокислое железо, хлористый аммоний и воду.

Техническая боенская кровь должна быть свежей, не свернувшейся.

Приготовление пенообразователя ГК состоит из:

а) получения 20%-ного раствора едкого натра;

для получения 20%-ного водного раствора едкий натр растворяют в воде при температуре 20 °С до получения раствора с плотностью 1,23 г/см^3;

б) гидролиза технической боенской крови;

для гидролиза боенской крови добавляют к ней 20%-ный водный раствор едкого натра.

Количество добавляемого едкого натра должно составлять 2% от массы, взятой для гидролиза крови в расчете на сухой едкий натр;

в) нейтрализации раствора гидролизованной крови;

нейтрализацию гидролизованной крови производят хлористым аммонием, причем расход хлористого аммония составляет 1,35 кг на 1 кг сухого едкого натра, израсходованного для гидролиза технической боенской крови.

В случае отсутствия хлористого аммония, нейтрализацию можно производить 5%-ным раствором соляной или серной кислоты.

Нейтрализацию производят небольшими порциями при постоянном перемешивании.

На I кг сухого едкого натра требуется 20 кг 5%-ного раствора соляной кислоты или 10 кг 5%-ного раствора серной кислоты.

После нейтрализации гидролизованной крови раствор охлаждается до комнатной температуры;

г) приготовления 15%-ного раствора сернокислого железа (железный купорос);

для приготовления 15%-ного раствора сернокислое железо берут из расчета I76г на 1л кипяченой воды с температурой 40-50°С. Раствор сернокислого железа можно заменить 15% -ным раствором медного купороса;

д) смешивания гидролизованной крови с сернокислым железом;

для получения готового пенообразователя смешивают остывшую гидролизованную кровь с 15%-ным раствором сернокислого железа в соотношении 1:0,3 (по объему).

Процесс смешивания рекомендуется производить в барабане пенобетономешалки при получении ячеистобетонной смеси.

Для приготовления **клееканифольного пенообразователя** применяют клей, канифоль, едкий натр и воду. Вначале готовятся клеевой раствор и отдельно канифольное мыло.

Затем полученный клеевой раствор смешивают с канифольным мылом.

Для приготовления клеевого раствора клей разбивают на куски размером 2-3 см, укладывают в железный бак и заливают водой, темперетура которой должна быть 15-20°С, в пропорции 1:2-1 (по массе).

Клей замачивают в воде в течение 24 ч.

Клеевой раствор приготовляют в сосудах, обогреваемых горячей водой или паром, при температуре 40–50 °С в течение 1,5–2 ч до полного растворения клея.

Приготовление канифольного мыла осуществляется в два этапа. В 1 л воды растворяют при кипячении 166 г едкого натра (плотность получаемого раствора должна быть равной 1,16 г/см^3). Канифоль, раздробленную на мелкие куски и просеянную через сито с отверстиями 5 мм, постепенно добавляют, при непрерывном перемешивании, в кипящий раствор едкого натра.

Соотношение канифоли и раствора натра берут в пропорции 3:1, причем канифоль принимают по массе (в кг), а раствор едкого натра – по объему (в л).

Кипячение раствора едкого натра с канифолью продолжают 1,5–2 ч до полного растворения канифоли, характеризуемого однородным цветом массы и отсутствием комков и крупинок. Испарившееся при кипячении количество воды восполняют горячей водой (t^o = 70 °С). В результате получают канифольное мыло.

Смешивание клеевого раствора и канифольного мыла в пропорции 3:0,7 (по массе) проводят при температуре клея 30°С и канифольного мыла 60°С. Клеевой раствор небольшими порциями вливают в канифольное мыло при тщательном перемешивании. Полученная смесь называется клееканифольным пенообразователем. Клееканифольный пенообразователь хранят в плотно закрытых деревянных бочках, стеклянных или глиняных сосудах в прохладном месте при положительной температуре. Срок хранения клееканифольного пенообразователя в холодное время года не более 20 сут, в жаркое время – не более 10сут.

Клееканифольный пенообразователь перед употреблением разбавляют горячей водой (t^o = 50 °С) в пропорции 1:5 (по объему). В таком виде он носит название «рабочего состава».

Белковые пенообразователи, используемые в настоящее время

а) Пенообразователь на основе БМК (белково-мыловый концентрат). Пенообразователи на основе БМК могут использоваться для производства любых марок пенобетона – от D300 до D1200. Пена, полученная на пенообразователе БМК в зависимости от назначения может иметь плотность от 80 до 300 г/л.

б) Кератиновый пенообразователь отечественного производства. Плотность пеноконцентрата составляет 1,012–1,015г/см^3. Кратность пены из кератинового пенообразователя находится в пределах 11–13 в зависимости от концентрации водного раствора пенообразователя. Процесс синерезиса (50-процентное истечение жидкости из выгнанной пены) находится в пределах 160–210 мин.

Поверхностное натяжение пены уменьшается с повышением коентрации кертинового пенообразователя. После концентрации, равной 3%, происходит стабилизация величиы поверхностного натяжения. Концентрация раствора кертинового

пенообразователя при прочности пенобетона 60,4–62,8 МПа составляет 0,4% и 0,5% от массы цемента.

в) Протеиновый пеноконцентрат «Эталон», изготовленный по ТУ 2483-003-13420175-2015, предназначен для изготовления технической пены, используемой при производстве пенобетона различных марок в диапазоне 100–1800 кг/м^3.

Физико-химические свойства:

- плотность при 20° С составляет 1120 кг/м^3;

- водородный показатель pH = 6,5–8,0;

- температура застывания – минус 25 °С. После размораживания свойства пенообразователя не меняются;

- стойкость пены в цементном растворе не менее 98%;

- выход пены – 830 л/кг.

Концентрация рабочего раствора: 1,5–2,5%, т.е. 1 кг пенообразователя разводится водой в соотношении 1:60, 1:50, 1:40 соответственно. Расход на 1 м^3 пенобетона D600 – 0,6-0,85 кг.

г) Протеиновый (из гидролизованного протеина) пенообразователь *«Laston»* производства итальянской фирмы ***Laston SPA*** (поставщик: ООО «Строй-Бетон»).

Производится из натурального белкового сырья с добавкой антибактериальных инсектофунгицидов, которые препятствуют биодеградации и старению бетона. В состав пенообразователя входят небольшие количества изобутанола, хлорида кальция и инертного минерального наполнителя. Замерзает пенообразователь при -15 °С. Пена гидролизованного белка содержит большую массу цементно-песчаного теста, поры при этом получаются закрытыми. Воздушные пузырьки диаметром 0,2-0,6 мм создают равномерную пористую структуру бетона. Жесткость воды следует понижать для лучшего пенообразования.

Технические характеристики:

- вид – темно-коричневая жидкость;

- активное вещество – протеингидролизат;

- плотность при 20 °С – 1,12 г/см^3;

- кратность – 24;

- температура применения – до –15 °С;

- плотность пены – 70–120 г/л;

- концентрация рабочего раствора – 6%.

Пеноконцентрат *«Laston»* применяется в технологии неавтоклавного фибропенобетона в количестве от 2%. Снижает усадочные деформации.

д) Пенообразователь *«GreenFroth»* (Италия, поставщик: ООО «Строй-Бетон»). Концентрация рабочего раствора – 5%. Плотность пены – 80г/л.

Усадочные деформации пенобетона на основе пенообразователя ***GreenFroth*** составляют 2,3 мм/м.

е) Пенообразователь *Reniment SB31L* (Audax-Keck GmbH, Германия). Применяется в технологии неавтоклавного фибропенобетона при концентрации 4% при введении фибры непосредственно в воду затворения. Дополнительно снижает усадочные деформации.

Технические характеристики:

- вид – темно-коричневая жидкость;
- активное вещество – протеингидролизат;
- плотность при 20 °С – 1,12 г/см^3;
- кратность – 24;
- температура применения – до –15 °С;
- плотность пены составляет 75 г/л.

В таблице П.3.1 приведены составы пенобетонов по данным **[23]**, приготовленных на основе указанных выше пенообразователей.

Таблица П.3.1 – Сырьевые составы и результаты испытаний образцов пенобетона, приготовленного на основе пенообразователей «Laston», «GreenFroth», Reniment SB31L по данным [23]

Вид пенообразователя	ПЦ кг/м^3	Песок, кг/м^3	Наполнитель МП-1, кг/м^3	В/Т	Плотность пены, г/л	Рабочий р-р,%	Средняя плотность, кг/м^3	Прочность на сжатие, МПа
«Laston»	300	480	300	0,24	120	6	1185	3,5
«Green Froth»	300	480	300	0,26	80	5	1216	4,4
Reniment SB31L	300	480	300	0,26	75	4	1219	4,5

Примечания:
1. МП-1 – минеральный порошок (неактивированный), производитель ОАО «Новоизборский комбинат нерудных материалов». Производится в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52129.
2. Усадочные деформации пенобетона на основе пенообразователей Laston и Reniment SB31L меньше соответствующих значений для пенобетона, приготовленного на основе GreenFroth и ПБ-Формула 2012 (см. ниже) и не превышают 2 мм/м.

ж) Белково-синтетический пенообразователь «Record», предназначен для приготовления пены воздушными пеногенераторами в производстве пенобетона раздельным методом и методом сухой минерализации.

Технические характеристики:

- внешний вид – вязкая жидкость коричневого цвета;

- плотность при 20 C^{o} – не менее 1,04 кг/$м^3$;

- водородный показатель (pH) 2,5% рабочего раствора – не более 8;

- плотность генерируемой пены – от 0,07 кг/л.

з) Протеиновые пенообразователи Foamin C, FOAM X (Италия), представляющие собой пеноконцентраты на базе белка, предназначенные для производства фибропенобетонов всех плотностей на установках с пеногенераторами и позволяющие изготавливать фибропенобетоны сверхнизкой плотности D100 и ниже. Особенностями пены являются: высокая кратность и стабильность, отсутствие осадка.

Дополнительно снижают усадочные деформации. Пенообразователь **FOAM X** поставляется в комплекте с полипропиленовой фиброй и пластифицирующей добавкой ЭСТ.

и) Протеиновые пенообразователи немецких фирм «Неопор-систем» и «ЭДАМА» отличаются высокой стабильностью и дисперсностью пены, выгнанной через пеногенератор.

к) Белковый пенообразователь на основе послеспиртовой барды, выпускаемой в виде жидкой барды (ПСБ) по ТУ – 9296-249-00008064-98 и сухой барды по ГОСТ Р53098-2008. Оптимальные соотношения компонентов данного пенообразователя:

- вода : ПСБ (жидкое): гидроксид натрия (по массе) – 100:6,4:2,6;
- вода : ПСБ (сухое): гидроксид натрия (по массе) – 100:10:1,8.

Основные физико-химические свойства раствора данного белкового пенобразователя по данным [25] приведены в таблице П.3.2.

Таблица П.3.2 – Основные физико-химические свойства раствора белкового пенобразователя на основе послеспиртовой барды по данным [25]

Наименование показателя	**Значение показателя**
Плотность раствора при 20 ^{o}C, г/$см^3$	1,06-1,08
Массовая доля сухих веществ,%	9,8-10
Массовая доля белковых веществ в сухих веществах,%	24-25
Водородный показатель (pH)	7,5 – 8,5
Кратность пены, полученной из 2% раствора гидролизата	18-21
Водоотделение из пены за 1 ч, полученной из 2% раствор гидролизата,%	0

л) Белковый пенообразователь из мицеллиальных отходов (мицелии микроорганизмов), полученный путем щелочного гидролиза. В качестве щелочного компонента при гидролизе используются либо гидроксид кальция либо гидроксид натрия. Оптимальные соотношения компонентов данного пенообразователя следующие: вода:мицеллий:известь (по массе) – 40:7:1.

Основные физико-химические свойства раствора данного белкового пенобразователя по данным [25] при 22 °С приведены в таблице П.3.3.

Таблица П.3.3 – Физико-химические свойства белкового пенообразователя из мицеллиальных отходов по данным [25]

Наименование показателя	**Значение показателя**
Плотность, кг/м^3	1035-1045
Содержание сухих веществ,%	8-10
Водородный показатель (pH)	9,0-9,2
Кратность пены, полученной из 2% раствора гидролизата	20-23
Температура замерзания, °С	-3
Водоотделение из пены за 1 ч,% (использован 2% раствор гидролизата)	0

Способ приготовления белкового пенообразователя методом микробного синтеза по данным (Патент РФ №2141930) приведен в Приложении 2.

м) Белковые пенообразователи, получаемые после микробиологической обработки (анаэробного и окислительного брожения) отходов пищевой промышленности (подсырной и творожной сыворотки). В качестве стабилизатора пены может быть использован раствор сульфата железа, а в качестве катализатора процесса гидролиза с лучшими поверхностно-активными свойствами – гидроксид натрия.

Согласно [25] оптимальные условия гидролиза сыворотки и соотношения компонентов следующие: весовое соотношение гидроксид натрия:сухие вещества в сыворотке – 1:2, продолжительность гидролиза – 50 мин при температуре среды 95 °С. Получаемая из данного пенообразователя пена имеет кратность 8–10, водоотделение – около 10–15%, водородный показатель (pH) – 8,5. Водоотделение пены определялось по количеству жидкости, выделившейся из пены в течение одного часа (в% к исходному количеству взятого для испытания раствора пенообразователя).

н) Белковые пенообразователи «Омпор» и «Омпор-Люкс», разработанные в Институте Новых Технологий и Автоматизации промышленности строительных материалов (ООО «ИНТА-СТРОЙ», г.Омск) [27] на основе переработки различных источников белкового сырья (боенская кровь, перо птицы и т.д.). Технические показатели порошкообразного пенообразователя «Омпор-Люкс» по данным [27] приведены в таблице П.3.4.

Таблица П.3.4 Физико-химические свойства белкового пенообразователя «Омпор-Люкс»

Наименование показателя	**Значение показателя**
Насыпная плотность, кг/м^3	730
Температура разложения, ^{o}C	200±10
Водородный показатель (pH) 1% водного раствора	5–6
Концентрация рабочего раствора,%	0,5-1
Кратность пены рабочего раствора, не менее	10
Стойкость пены на воздухе, мин., не менее	45
Стойкость пены в цементном тесте,%, не менее	95
Температурный диапазон хранения, ^{o}C	–30…+40

В таблицах П.3.5 и П.3.6 приведены составы пенобетона различных плотностей с расходами жидкого пенообразователя «Омпор» и порошкообразного пенообразователя «Омпор-Люкс».

Таблица П.3.5 – Составы пенобетона марок по средней плотности D300-D800 с расходами пенообразователей «Омпор» и «Омпор-Люкс»

Плотность пенобетона, кг/м^3	Цемент ПЦ500Д0, кг/м^3	Зола, кг/м^3	Расход пенообразователя, кг/м^3	
			«Омпор»	«Омпор-Люкс»
300	268	0	3,4	0,67
400	357	0	3,2	0,64
500	357	100	3,0	0,61
600	348	210	2,8	0,56
700	406	245	2,6	0,53
800	379	376	2,4	0,50

Примечание: Пенобетон изготавливался по двухстадийной технологии путем смешивания с цементным тестом пены, полученной из пенообразователей «Омпор-Люкс» и «Омпор» в концентрации по сухому веществу.

Таблица П.3.6 – Состав сухой смеси для производства пенобетона марки по средней плотности D400 с оптимальным (по структуре пенобетона и из экономической целесообразности) расходом пенообразователя «Омпор-Люкс»

Плотность пенобетона, кг/м^3	Цемент ПЦ500Д0,%	Сухой заменитель жидкого стекла,%	«Омпор-Люкс»,% от массы цемента	Прочность при сжатии, МПа
426	99,44	0,08	0,49	1,17

Примечания:
1. Пенобетон изготавливался по одностадийной технологии путем добавления 0,6 л воды на каждые 950 г сухой смеси при перемешивании в течение 40 с на высокоскоростном смесителе (1100 мин$^{-1}$)
2. В качестве сухого заменителя жидкого стекла использовался $Na_2SiO_3 \cdot 9H_2O$

П.3.2 **Синтетические пенообразователи** легче вспениваются, имеют более длительный срок хранения, устойчивы к введению химических добавок.

В качестве синтетических пенообразователей по данным **«Рекомендаций по изготовлению и применению изделий из неавтоклавного ячеистого бетона»** (в том числе, алюмосульфонафтеновых), полученных на основе ПАВ (поверхностно-активного вещества) и стабилизаторов, рекомендуется применять:

- сульфанол (по ТУ 84-373-72 и ТУ 6-01-1001-77);
- пасту алкилсульфатов (ТУ 38-10765-75);
- скруберную пасту (ТУ38-107.101-75);
- ПАВ «Прогресс» (ТУ 38-10719-77).

Стабилизаторами пены синтетических пенообразователей могут быть:

костный клей – по ГОСТ 2067;

мездровый клей – по ГОСТ 3252;

жидкое стекло ПЛ-1,4 – ГОСТ 13078-68;

клей казеиновый марки В-207 и СБ – ГОСТ 3056-90;

тринатрийфосфат – ГОСТ 201-76;

карбоксилметилцеллюлоза – ОСТ 6-05-386-80;

Составы синтетических пенообразователей представлены в таблице П.3.7.

Таблица П.3.7 – Составы синтетических пенообразователей по данным «Рекомендаций по изготовлению и применению изделий из неавтоклавного ячеистого бетона»

Пенообразующее вещество ПАВ	Содержание ПАВ, масс.ч.	Содержание стабилизаторов пены, масс.ч.					Содержание воды, масс.ч.
		Жидкое стекло ПЛ-1,4	КМЦ	Клей казеиновый	Клей мездровый (или костный)	Тринатрий фосфат	
Сульфанол (ТУ 84-373-72)	1	-	-	0,2	-	-	13
	1	-	0,3	-	-	0,3	13
	1	-	-	-	0,3	-	13
	1	-	-	-	-	0,5	13
ПАВ на основе первичных и вторичных алкилсульфатов							
Паста алкилсульфатов (ТУ 38-10765-75)	1	1,2	-	-	-	0,5	10
	1	-	-	0,3	-	-	12
Скруберная паста (ТУ38-107.101-75)	1	1	-	-	-	-	10
	1	-	-	-	0,2	-	12
ПАВ «Прогресс» (ТУ 38-10719-77)	1	-	0,06	-	-	0,03	0,6
	1	-	-	0,03	-	-	0,5

Примечание: КМЦ – карбоксилметилцеллюлоза – ОСТ 6-05-386-80; клей казеиновый марки В-207 и СБ – ГОСТ 3056-74; жидкое стекло – ГОСТ 13078-68; тринатрийфосфат – ГОСТ 201-76

Способы приготовления пенообразователей, указанных в таблице 4.23, приведены ниже. Основные положения контроля качества пенообразователей приведены в разделе 9 «Контроль качества сырьевых материалов, ячеистофибробетонной смеси и изделий».

Приготовление синтетических пенообразователей включает в себя три этапа:

1) растворение ПАВ (поверхностно-активного вещества) в воде. Растворение ПАВ следует производить в воде, взятой по расчету и подогретой до температуры 40–60 °С. После введения ПАВ раствор должен медленно перемешиваться в течение 30–40 мин до остывания (до комнатной температуры);

2) приготовление стабилизатора пены. Раствор казеинового клея готовится иа основе казеинового клея и воды, взятых в соотношении 1:3–1:6. Клей вводится в воду и перемешивается в течение 20-30 мин до получения однородной массы без комков.

Раствор карбоксилметилцеллюлозы (КМЦ) готовится цутем его растворения в воде в соотношении 1:5–1:10. Вначале порошок КМЦ заливается водой и набухает в течение

1ч, затем осуществляется его перемешивание в течение 20-30 мин до получения однородной массы.

Раствор мездрового клея готовится путем растворения в воде в соотношении 1:2–1:5 и выдержки до набухания в течение 24 ч. Затем клей обогревают в течение 2 ч горячей водой или паром при температуре 50 °С до получения однородной массы без комков.

Жидкое стекло и тринатрийфосфат следует растворять в воде, перемешивая до полного растворения;

3) смешивание раствора ПАВ со стабилизатором. Раствор ПАВ вводят в раствор стабилизатора и перемешивают в течение 20–40 мин. После этого пенообразователь готов к употреблению.

Срок хранения пенообразователя на основе казеинового клея 1 сут, КМЦ и мездрового клея – не более 3 сут, жидкого стекла – не более 10 сут.

Синтетические пенообразователи, используемые в настоящее время:

а) Пенообразователь – ПБ-Формула 2012 (ООО «Ивановская химическая компания», г. Иваново) по ТУ 2481-185-05744685-01.

Физико-химические свойства ПБ-Формула 2012:

- плотность при 20 °С – 1000–1150 кг/м^3;
- плотность пены – 100 г/л;
- кратность пены рабочего раствора с объемной долей 4%, не менее – 8,0;
- устойчивость пены,%, не более – 5;
- концентрация рабочего раствора – 1%.

Усадочные деформации пенобетона на основе пенообразователя ПБ-Формула 2012 составляют 2,3 мм/м, что не превышает предельного нормируемого значении 3 мм/м.

При этом пенобетон, приготовленный на основе пенообразователя ПБ-Формула 2012, может иметь максимально возможную прочность при среднем значении его плотности.

В таблице П.3.8 приведен состав пенобетона, приготовленного на основе пенообразователя ПБ-Формула 2012 по данным **[23]**.

Таблица П.3.8 – Сырьевые составы и результаты испытаний образцов пенобетона на основе на основе пенообразователя ПБ-Формула 2012 по данным **[23]**

Вид пенообразователя	ПЦ кг/м^3	Песок, кг/м^3	Наполнитель МП-1, кг/м^3	В/Т	Плотность пены, г/л	Рабочий р-р,%	Средняя плотность, кг/м^3	Прочность на сжатие, МПа
ПБ-2012	300	480	300	0,23	100	1	1202	4,6

б) Пенообразователь «ПБ-Люкс» по ТУ 2481-004-59586231-2005. Представляет собой водный раствор смеси анионоактивных ПАВ со стабилизирующими и функциональными добавками.

Плотность пены составляет 1,04–1,1 г/см3, кратность пены варьируется от 5 до 50, коэффициент устойчивости пены в цементном тесте не менее 0,95. Указанный пенообразователь совместим со всеми органическими и неорганическими добавками, хорошо смешивается с водой в небольших дозировках и способствует образованию высокопористой структуры ячеистых бетонов с малой плотностью.

Совместим со всеми органическими и неорганическими добавками, применяемыми в производстве пенобетона – ускорителями твердения органической и неорганической природы, пластификаторами, фиброволокном, хорошо смешивается с водой в небольших дозировках и способствует образованию высокопористой структуры ячеистых бетонов с малой плотностью. Может использоваться во всех известных технологиях получения пенобетона – с использованием пеногенераторов (раздельный способ по классической технологии), «миксерной» с различной организацией перемешивания и баротехнологии.

Обладает высокой устойчивостью пены в цементном тесте, что позволяет транспортировать готовую пенобетонную массу на значительные расстояния без разрушения.

В зависимости от плотности изделий расход пенообразователя может составлять от 0,25 до 1,2 литра концентрата на 1 м^3 пенобетона. При использовании следует минимизировать его нормативный расход для максимального уменьшения отрицательного влияния на замедление скорости твердения. В случае «миксерной» технологии следует руководствоваться расходом пенообразователя не более 1,5 кг на 1 м^3 пенобетона.

Технические характеристики пенообразователя «ПБ-Люкс» приведены в таблице П.3.9.

Таблица П.3.9 –Технические характеристики пенообразователя «ПБ-Люкс»

Наименование показателя	Значение показателя
Внешний вид	Однородная жидкость от светло-желтого до коричневого цвета.
Запах	Специфический, присущий продукту
Плотность при 20°С, г/см^3	1,040 – 1,100
Водородный показатель (pH) продукта	8,0 – 10,5
Кратность пены рабочего раствора с объемной долей продукта 4%, не менее	7,0
Коэффицинт устойчивости пены в цементном тесте, не менее	0,95

Плотность пены составляет 1,04–1,1 г/см^3, кратность пены варьируется от 5 до 50, коэффициент устойчивости пены в цементном тесте не менее 0,95. Указанный пенообразователь совместим со всеми органическими и неорганическими добавками, хорошо смешивается с водой в небольших дозировках и способствует образованию высокопористой структуры ячеистых бетонов с малой плотностью.

Технология применения:

Перед применением пенообразователь следует выдержать при температуре 20-–35°С и тщательно перемешать до полной однородности.

В зависимости от применяемого оборудования (пеногенератора) при раздельном способе получения пенобетона как правило используют рабочие растворы пенообразователя в воде с объемной концентрацией продукта 2,0–4,5%. Оптимальная температура рабочего раствора, обеспечивающая наилучшее соотношение кратности и устойчивости пены, составляет 17–22 °С. В реальных условиях температура рабочего раствора в зависимости от применяемой технологии варьируется в пределах 10–35 °С. Рекомендуемая кратность пены рабочего раствора, обеспечивающая наилучшие технологические условия производства (экономию пенообразователя и минимизацию отрицательного влияния на скорость твердения), составляет 20–35.

При использовании следует избегать любого контакта пенообразователя или его растворов с нефтепродуктами и маслами, приводящими к необратимой потере пенообразующих свойств продукта даже в следовых количествах.

При использовании жесткой воды (концентрация солей жесткости > 3 мг-экв/л) перед приготовлением рабочего раствора следует умягчить воду, добавляя ~56 г

кальцинированной соды (Na_2CO_3) на 1 $м^3$ воды для снижения жесткости на каждый 1 мг-экв/л и перемешивая до полного растворения соды. Полученную смягченную воду затем использовать для приготовления рабочих растворов.

в) Пенообразователь ПО-ЗНП, выпускаемый ЗАО «Новочеркасский завод синтетических продуктов» (г.Новочеркасск Ростовской обл.) по ТУ 38-00-05807999-20-93, представляющий собой водный (25-27%) раствор алкилсульфата натрия с добавками карбамида и хроматциклогексанамина, относящийся к группе анионактивных веществ.

Предназначен для получения пены низкой, средней и высокой кратности. Технические характеристики пенообразователя приведены в таблице П.3.10.

Таблица П.3.10 – Характеристики пенообразователя ПО-ЗНП

Наименование показателей	Нормы по ТУ 38-00-05807999-20-93	Результат испытания
Внешний вид	Однородная прозрачная жидкость без посторонних включений и осадков	
Плотность при 20°С, г/$см^3$	1,020-1,080	1,052
Кинематическая вязкость при 20 °С, $мм^2 \cdot с^{-1}$, не более	100	4,6
Водородный показатель (pH) при 20 °С	7,0–10,0	9,4
Кратность пены 2%-ного водного раствора, не менее	6,0	6,5
Кратность пены 3%-ного водного раствора: - низкая, не более - средняя, не менее	 20 60	 – –
Устойчивость пены 2%-ного водного раствора, с, не менее	270	308
Устойчивость пены 3%-ного водного раствора, с, не менее: - разрушение 50% объема пены средней кратности в емкости 200л; - выделение 50% объема жидкой фазы пены средней кратности	 720 170	 – –
Температура застывания °С, не выше	-3	
Концентрация рабочего раствора (объемные % в пресной воде)	3	
Биоразлагаемость, не менее, %	98	
Срок хранения, не менее	10 лет	

г) Пенообразователь ПО-6НП (по ТУ 38-00-05807999-33-95, изм.1-4) отличается повышенной устойчивостью пены. Технические характеристики пенообразователя приведены в таблице П.3.11.

Таблица П.3.11 – Характеристики пенообразователя ПО-6НП

Наименование показателей	Нормы по ТУ 38-00-05807999-33-95
Внешний вид	Однородная жидкость без осадков и расслоений
Плотность при 20°С, г/см^3	1,010-1,100
Кинематическая вязкость при 20°С, мм^2·с$^{-1}$, не более	200
Водородный показатель (pH) при 20°С	6,5-10,0
Кратность пены 6%-ного водного раствора: - низкая, не более - средняя, не менее - высокая, не менее	 20 60 200
Устойчивость пены 6%-ного водного раствора, не менее - разрушение 50% объема пены средней кратности в емкости 200 л, мин - выделение 50% объема жидкой фазы пены средней кратности, с	 45 170
Температура застывания °С, не выше	-10
Концентрация рабочего раствора (объемные % в пресной воде)	6
Биоразлагаемость, не менее, %	80
Срок хранения, не менее	10 лет

д) Пенообразователь «Аэропор» по ТУ 5743-001-51402295-00. Поставляется совместно с сухим ускорителем твердения пенобетона.

Технические характеристики пенообразователя приведены в таблице П.3.12.

Таблица П.3.12 Характеристики пенообразователя «Аэропор»

Наименование показателей	Нормы по ТУ 5743-001-51402295-00	Результат испытания
Кратность пены, не менее	8,0	20
Стойкость,% по отделению жидкой фазы в течение 50мин	50	15

Технология применения:

Для приготовления 100л рабочего раствора:

- пенообразователь в количестве 3 кг разводится водой с температурой не менее 10 °С, взятой в количестве 87 л соответственно (раствор 1);

- сухой ускоритель твердения в количестве 0,25 кг растворяется в воде с температурой не менее 10 °С, взятой в количестве 9,75 л и перемешивается до полного растворения (раствор 2);

- раствор 2 вливается в раствор 1 и перемешивается до однородности;

- полученный рабочий раствор пенообразователя (РРП) готов к использованию через 10 мин после приготовления и может храниться до момента использования в течение не более 3 суток.

Для приготовления пены и РРП следует использовать пеногенераторы, в том числе производства ООО «Аэрокон», обеспечивающие нормативные показатели пены.

е) Пенообразователь ПБ-2000 по ТУ 2481-185-05744685-01. Рабочая концентрация пенообразователя – 2% по массе.

Технические характеристики пенообразователя приведены в таблице П.3.13.

Таблица П.3.13 – Характеристики пенообразователя ПБ-2000

Показатели	Норма	Результат испытания
Внешний вид при (20-25 ^{0}С)	Однородная жидкость от светло-желтого до коричневого цвета	соотв
Плотность при 20 ^{0}С, кг/м^3	1000-1200	1075
Водородный показатель (рНО в пределах)	7,-0 – 10,0	8,2
Кратность пены рабочего раствора с объемной долей 4%, не менее	7,0	8,0
Устойчивость пены, с, не менее	360	480

ж) Пенообразователь «Ареком – 4», выпускается ООО «Нева – Центр» (г. Старая Русса Новгородской обл.) по ТУ 31-10. Данный пенообразователь характеризуется низким расходом. Предназначен для получения пены средней и высокой кратности.

Технические характеристики пенообразователя приведены в таблице П.3.14.

Таблица П.3.14 – Характеристики пенообразователя «Ареком – 4»

Наименование показателей	Значение
Внешний вид	Светло-желтая однородная жидкость без посторонних включений и осадков
Плотность при 20°С, г/см^2	1,090
Кинематическая вязкость при 20°С, мм^2/с, не более	4,2
Водородный показатель (pH)	11,0

з) ПАВ – сульфонат-порошок ТУ-6-00-576-3650-86-89. Рабочая концентрация 1-2% по массе. Вводится в смеситель в количестве 0,8–2,0% от массы цемента.

и) Лаурилсульфат натрия по ТУ-6-01-7-89. Рабочая концентрация 1–2% по массе. Вводится в количестве 0,8–2,0% от массы цемента

к) Пенообразователь (пеноконцентрат отечественного производства) **СПО-3 по ТУ 6-00-576-3650-86-89**. Расход при изготовлении пенобетона классов по плотности D350 – D600 составляет 1,5–2,4 кг/м^3. Оптимальная концентрация рабочего раствора при коэффициенте использования пенообразователя (α = 0,75) составляет 5–5,5%.

л) Пенообразователь российского производства «Пеностром» по ТУ 2481-001-22299560-99, разработанный во ВНИИПАВ (г. Шебекино Белгородской обл.). Предназначен для получения устойчивой пены низкой кратности. Рабочая концентрация раствора для получения пены низкой кратности составляет от 0,1 до 2% массы.

Технические характеристики пенообразователя приведены в таблице П.3.15.

Таблица П.3.15 – Характеристики пенообразователя «Пеностром»

Внешний вид	Темно-коричневая жидкость без осадка и расслоения
Физико-химические свойства	Плотность при 20 °С, кг/м^3, в пределах – **1020-1090** Кинематическая вязкость, при 20 °С, мм$^2\cdot$с$^{-1}$,не более – **40** Температура застывания, °С, не выше, минус – **3** Водородный показатель (pH) 1% водного раствора,в пределах – **7,5-10,0** Кратность пены, не менее – **4** Устойчивость пены, с, не менее – **240**

м) Пенообразователь, синтезируемый с катализатором (в том числе ускорителем твердения цемента) на основе двух ПАВ- компонентов, плотностью пены 40-50 г/л, кратностью ≥20, в 1,5-2 раза более стойкой по сравнению с протеиновой, не замедляющий твердение цементного камня в пенобетоне **[29]**.

н) Пеноконцентрат германского производства марки F 98/16. Оптимальная концентрация рабочего раствора пенообразователя при наибольшем коэффициенте использования ($\alpha = 0,92$) составляет – 4,0%.

Кроме указанных выше пенообразователей в качестве пенообразующих добавок при изготовлении пенобетонных смесей применяют специальные синтетические продукты: ПО-1, «Морпен», «Унипор», а также окись алкилдиметиламина по ТУ 2413-008-48482528-99 со стабилизатором пены в количестве 4-5% от расхода пенообразователя.

Приложение 4 (справочное)

СПОСОБ ПРИГОТОВЛЕНИЯ БЕЛКОВОГО ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ФИБРОПЕНОБЕТОНА

(по данным патента РФ №2141930)

Изобретение относится к способам получения белкового пенообразователя и может быть использовано для получения пенобетона. Технический эффект заключается в повышении пенообразующей способности белкового пенообразователя.

Сущность изобретения заключается в том, что в способе приготовления белкового пенообразователя путем гидролиза протеинсодержащего вещества, фильтрацией и введением стабилизирующей добавки процесс гидролиза проводят известью, а стабилизирующую добавку вводят непосредственно в фильтрат в виде раствора соли металла с последующим разбавлением водой до необходимой пенообразующей активности.

Способ осуществляют следующим образом. К сухому протеинсодержащему веществу микробного синтеза добавляют известь, воду и полученную смесь нагревают при перемешивании в течение времени, необходимого для достижения оптимальных значений пенообразующей активности (кратности и стойкости). По окончании гидролиза смесь охлаждают до комнатной температуры и фильтруют. В фильтрат вводят соль металла (например, $Fe_2(SO_4)_3$, $FeSO_4$, $FeCl_3$, $CuSO_4$ и др). Полученный раствор после 10-кратного разбавления водой имеет кратность пены 10–17, устойчивость 12–14 ч и используется в качестве пенообразователя.

Пример. 100 г мицеллия, 14 г извести и 300 $см^3$ воды нагревают в колбе с обратным холодильником при перемешивании и температуре 95 ^oC в течение 2 ч, охлаждают до комнатной температуры и фильтруют. В 5 $см^3$ фильтрата добавляют 95 $см^3$ воды и 1,25 $см^3$ 15%-ного раствора сульфата железа (III) $(Fe_2(SO_4)_3$. В полученном растворе определяют кратность пены по ГОСТ 6948-70, величина которой составляет 14, устойчивость пены составляет 13 часов.

Предлагаемый способ по сравнению с известными решениями позволяет повысить кратность пены на 33%, устойчивость в 107 раз.

Приложение 5 (рекомендуемое)

ИСХОДНЫЕ СОСТАВЫ ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА

Таблица П.5.1 – Составы пенобетона неавтоклавного твердения плотностью D700 с оптимальными соотношениями кремнеземистого компонента к вяжущему С, шлака к цементу Ш/Ц и глиноземистого цемента к гипсу ГЦ/Гипс

Характеристики состава			Физико-механические характеристики				
С	Ш/Ц	ГЦ/Гипс	γ, кг/м^3	$R_{b,\ МПа}$	$R_{bt,\ МПа}$	R_{bt}/R_b	ε_{yc}, мм/м
0,75	0,65	0,20	737	5,1	1,236	0,24	1,65
0,75	0,40	0,30	740	4,76	1,11	0,23	1,72

Примечания:

1. R_{bt} – прочность на растяжение при изгибе
2. Портландцемент Белгородского завода по ГОСТ 10178 «Портландцемент, шлакопортландцемент, пуццолановый портландцемент и их разновидности»; глиноземистый цемент по ГОСТ 9552; гипс строительный по ГОСТ 401374; доменный Нижнетагильский кислый гранулированный шлак по ГОСТ 3476; порообразователь СПО по ТУ -6-00-576-3650-86-89

Таблица П.5.2 – Составы пенобетона неавтоклавного твердения плотностью D700 и D800 с оптимальным количеством химических добавок

Характеристика составов пенобетона				Средняя плотность, кг/м^3
Основные сырьевые компоненты и их соотношение	В/Т	Содержание добавок, % от массы цемента		
		С-3 по ТУ	УП	
цемент : песок 1:1	0,48	0	0	680
цемент : песок 1:1	0,38	1,2	0,6	809

Примечание: Портландцемент Белгородского завода по ГОСТ 10178 «Портландцемент, шлакопортландцемент, пуццолановый портландцемент и их разновидности»; УП – ускоритель твердения – УП-1 по ТУ 5870-086-46854090-99

Таблица П.5.3 – Составы неавтоклавного пенобетона классов по плотности D800 приготовленные из многокомпонентной сырьевой шихты

Характеристика составов пенобетона				Показатели физико-механических свойств пенобетонов			
Основные сырьевые компоненты и их соотношение	В/Т	Содержание добавок,% от массы цемента		Средняя плотность, кг/м^3	Прочность при сжатии R_b, МПа	Прочность на растяжение при изгибе R_{bt}, МПа	R_{bt}/R_b
		С-3 по ТУ	УП				
цемент : песок 1:1	0,49	0	0	800	2,49	0,687	0,276
цемент : песок 1:1	0,30	0,8	1,0	800	4,51	1,36	0,30
цемент : песок 1:0,75	0,30	0,8	1,0	800	5,31	1,53	0,288
цемент : зола 1:1	0,40	0,85	1,0	800	5,4	1,687	0,31

Примечание: Портландцемент Белгородского завода по ГОСТ 10178 «Портландцемент, шлакопортландцемент, пуццолановый портландцемент и их разновидности»; УП – ускоритель твердения – УП-1 по ТУ 5870-086-46854090-99; СПО – порообразователь по ТУ -6-00-576-3650-86-89

Таблица П.5.4 – Исходные составы неавтоклавного конструкционно-теплоизоляционного ячеистого бетона средней плотностью D700-1100

Вид вяжущего	Класс бетона по прочности на сжатие, В	Средняя плотность, кг/м^3	Расход сырьевых материалов, кг										Расход воды, л	Расплыв по Суттарду (в скобках величина погруже-ния конуса Строй ЦНИЛ, см
			Цемент	Известь (активность 70 %)	Шлак	Песок		Зола		Каустическая сода (в скобках девятиводный метасиликат)	Алюминиевая пудра (в скобках пенообразователь)	ПАВ		
						молотый	немолотый	уноса	гидроудаления					
Цементное	1,5	700	290	15	–	325	–	–	–	–	0,52	0,05	230	12-13
	2,5	800	325	17	–	90	288	–	–	–	0,89	0,05	205	9-10
	2,5	800	375	–	–	300*	–	75	–	1,4	0,52	0,05	187	11-12
	2,5	800	300	15	–	–	–	–	405	–	0,95	0,07	240	10-14
	3,5	900	420	–	–	370*	–	85	–	1,5	0,5	0,05	193	11-12
	3,5	900	350	17	–	–	–	–	445	–	0,8	0,06	210	10-14
	5,0	1100	410	20	–	–	560	–	–	–	0,84	0,03	290	9-10
	1,5	700	270	15	–	–	120	225	–	–	0,47	0,04	290	12-13
	2,5	800	310	–	–	–	–	–	410	–	(20)	–	200	14-16

Окончание таблицы П.5.4

Цементное	3,5	800	340	17	–	–	–	365	–	–	0,85	0,05	300	(3-5)
	5,0	1100	350	20	–	–	195	425	–	–	0,22	0,03	380	9-10
	3,5	1000	350	20	–	–	–	520	–	–	0,73	0,03	350	(3-5)
Известково-шлаковое	2,5	700	(30**)	115	265	–	–	220	–	–	0,4	0,04	350	14-15
Шлакощелочное	1,5	700	–	27	360	–	–	120	–	(120)	(20-25)	–	150	18-20
Известково-цементно-пуццоланое	7,5	1100	180 (80**)	150	–	–	–	–	600	–	(6)	–	550	16-18

* Барханный песок

** Добавка двуводного гипса

Примечания: 1. Поризацию смесей для мелких блоков можно осуществлять также с помощью пенообразователей

2. Последние три состава приведены для экспериментального применения в мелкоразмерных изделиях

Таблица П.5.5 – Исходные составы для изготовления изделий из пенобетона марки по средней плотности D600-D900

Наименование технологических факторов	Наименование показателей	Единица измерения	Рекомендуемые величины					
			D 600	D700	D 700	D 800	D 800	D 900
			М- 25	М -25	М-35	М-35	М-50	М-50
Расход материалов при изготовлении мелких стеновых блоков	Цемент	кг/м^3	350	400	360	460	420	480
	Песок	кг/м^3	215	260	260	300	300	360
	Вода	л/м^3	130	145	150	155	160	165
	ПБ -2000	л/м^3	1,5	1,4	1,55	1,45	1,5	1,35
	С-3	кг/м^3	2,0	2,8	–	2,75	–	–
	МБ-01	кг/м^3	–	–	40	–	45	–
Расход материалов при изготовлении перегородочных плит	Цемент	кг/м^3	–	–	360	460	420	480
	Песок	кг/м^3	–	–	260	300	300	360
	Вода	л/м^3	–	–	150	155	190	160
	ПБ -2000	л/м^3	–	–	1,55	1,45	1,5	1,35

Окончание таблицы П.5.5

	С-3	кг/м^3	–	–	–	2,75	–	2,4
	МБ-01	кг/м^3	–	–	40	–	40	–

Примечания:
1. Для расчета песка с учетом его влажности необходимо расход песка умножить на (1+W), а из расчетного количества воды вычесть количество воды, содержащейся в песке, W – влажность песка в долях от 1
2. В таблице приведен расход С-3 в сухом виде
3. Использована модифицирующая добавка МБ-01

Таблица П.5.6 – Исходные составы теплоизоляционного пенобетона средней плотностью 350–400 кг/м^3

Номер состава	Вид		Отношение массы кремнеземистого компонента к массе вяжущего	Доля извести в вяжущем, мас.ч.	В/Т	Рекомендуемые добавки,% массы вяжущего			
	вяжущего	кремнеземистого компонента				триэтаноламин	тринатрийфосфат	силикатные соединения щелочных металлов в пересчете на Na_2O	гипс
1	Цемент	Зола	0,75	0,05	0,6–0,65	–	–	–	3
2	Цемент-известь	Зола или шлак	1	0,35	0,6–0,65	–	–	–	3
3	Цемент + известь	Зола	0,4–0,6	0,3	0,6–0,65	–	–	–	5
4	Шлако-щелочное	Зола	0,1–0,15	–	0,55–0,6	–	–	8–10	–
5	Цемент	Керамзит	0,7	–	0,63–0,68	0,01–0,05	0,5–1,0	–	–
6	Цемент	Песок	0,5	0,05	0,5–0,6	–	–	–	2

Таблица П.5.7 – Составы фибропенобетонных смесей по данным **(Патент RU (11) 2226517 (13) C2)**

№ состава	Содержание компонентов, мас.% (доля от массы твердых компонентов)						Показатели свойств составов				
	Портландцемент М500	Кремнеземистый компонент (кварцевый песок, модуль крупности 2,0)	ПАВ* – сульфонат порошок по ТУ-6-00-576-3650-86	Стабилизатор - алюминат натрия	Суперпластификатор С-3 по ТУ-6-36-020-4229-625-90	Водотвердое отношение	Средняя плотность, кг/м^3	Прочность при сжатии, кгс/см^2	Прочность на растяжение при изгибе, МПа, кгс/см^2	Усадочные деформации, мм/м	Влажность, мас.%
1	71	25	1,0	0,75	2,25	0,65	250	8,6	1,2	–	26
2	40	42,5	1,2	0,0	1,0	0,34	720	44,0	5,1	2,8	19,2

Примечание: Для приготовления фибропенобетонной смеси используют:
– портландцемент М500;
– кремнеземистый компонент – кварцевый песок с модулем крупности 2,0;
– ПАВ – сульфонат-порошок ТУ-6-00-576-3650-86 или лаурилсульфат натрия ТУ-6-01-7-89;
– суперпластификатор С-3 ТУ-6-36-020- 4229-625-90;
– стабилизатор – алюминат натрия

Таблица П.5.8 – Ориентировочный номинальный состав пенозолобетона классов В2,5-В5 с основными физико-механическими свойствами по данным **[18]**

В/Т	Количество С-3, в% Ц	Отношение цемент:зола	Свойства фибропенозолобетона		
			Средняя плотность, кг/м^3	R_{bt}, МПа	R_b, МПа
0,7	0	1 : 1,25	730	0,9	2,9
	0,5		715	1,1	2,9
0,5	0		760	1,3	3,1
	0,5		720	1,4	3,6
0,42	-		740	-	-

Примечания: 1. В составе использовалась зола сланцевая циклонной очистки Прибалтийской ГРЭС
2. В качестве порообразователя применялся клееканифольный пенообразователь

Таблица П.5.9 – Опытные составы пенобетонных смесей по данным **[23]**

Цемент, кг/м^3	Песок, кг/м^3	МП-1, кг/м^3	В/Т	Средняя плотность, кг/м^3	Прочность на сжатие, МПа	Прочность на изгиб, МПа
330	460	290	0,24	1185	3,5	–
350	460	270	0,26	1150	3,2	–
300	480	300	0,26	1216	4,4	1,9

Примечание: В составе применялись:

– в качестве вяжущего – портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н по ГОСТ 31108 пр-ва завода ООО «ЛСР. ЦЕМЕНТ-СЗ» (г. Сланцы Ленинградской области);

– кремнеземистый компонент – речной песок (ОАО «Новгородский порт»), модуль крупности Мкр= 2,2 по ГОСТ 8736;

– минеральный порошок МП-1 (неактивированный) ОАО «Новоизборский комбинат нерудных материалов» производится в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52129, характеристики МП-1 представлены в таблице 4.34;

– в качестве порообразующего вещества применялся 6%-ный раствор белкового пенообразователя Laston.

Таблица П.5.10 – Физико-механические свойства ячеистых бетонов на различных вяжущих плотностью 520–665 кг/м^3

Вид ячеистого бетона	Вяжущее	В/Т	Показатели свойств составов			
			Средняя плот-ность, кг/м^3	Прочность на растяжение при изгибе $R_р$, МПа	Прочность при сжатии $R_{сж}$, МПа	$R_р/R_{сж}$
Пенобетон	ПЦ-500	0,55	590	0,75	6,0	0,125

Примечание:

– образцы пенобетона и газобетона были изготовлены на Белгородском портландцементе марки М-500;

– образцы испытвались с влажностью 10–12%.

Приложение 6 (справочное)

ОРИЕНТИРОВОЧНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ДИСПЕРСНОГО АРМИРОВАНИЯ ЯЧЕИСТОГО ФИБРОБЕТОНА

Таблица П.6.1

Вид фибры	Вид бетона	Содержание, в % от объема сырьевой смеси	Содержание, в% от массы вяжущего	Содержание, в% от массы сухих компонентов	Расход (дозировка) в кг на 1м^3
Полиамидная фибра Волокно полиамидное по ТУ 6-13-0203969-16-90, произведенное ЗАО «Сибур-Волжский» (г.Волжский), диаметром 13..17мкм, длиной 30...70 мм	Фибропенобетон с расширяющей добавкой (РД) проектной средней плотностью D800 по данным **[15]**	2,3% при соотношении между цементом и песком Ц:П = 1,5:1,0		1,0	
Волокна полиамидные длиной 40 мм по данным **[15]**	Фибропенобетон плотностью 933 кг/м^3 с расширяющей добавкой для изготовления опытной партии перегородочных блоков 500×300×80мм по ТУ 5767-033-02069119-2003 «Изделия из фибропено-бетона» по данным **[15]**				5,6
Волокна полиамидные ГОСТ 22693-98 длиной 3–5 мм	Ячеистый фибробетон средней плот-ностью 250–1000 кг/м^3 , прочностью 6,5–110 кг/см^2, прочностью на растяжение 1,5–42 кг/см^2. (патент RU (11) 2226517 (13) C2)			2,75–6,0	
Полиамидная фибра	Фибропенобетон средней плотностью 515 кг/м^3, прочностью при сжатии 2,18 МПа, прочностью при растяжении 1,7 МПа (с заполнителем – шламотходы водоочистки крупностью 0,5мм – 28%). (патент РФ №2206544. 2003 г.)			1,3	
	Фибропенобетон средней плотностью 622 кг/м^3, прочностью при сжатии 2,29 МПа, (с заполнителем – дробленая порода крупностью 1,25 мм – 30%). (патент №2133244. RU 20.07.99 г.)			1,0	

Продолжение таблицы П.6.1

Полиамидная фибра под торговым названием «капрон» (капроновые волокна (d = 0,02 мм, l = 20мм) из промышленных отходов ПО «Нева»)	Фибропенозолобетон (Ц:З=1:1) на кислой каменноугольной золе Ижорской ТЭЦ, средней плотности 700…800 кг/м^3.			0,3…2,7	
Капроновые волокна длиной 20мм, диаметром 0,02мм из промышленных отходов ПО"Нева"	Фибропенозолобетон средней плотностью 780 кг/м^3 на кислой каменноугольной золе Ижорской ТЭЦ, состава цемент : зола = 1:1 с водо-твердым отношением В/Т=0,5.			1,0	
Капроновые волокна длиной 20мм, диаметром 0,02мм из промышленных отходов ПО"Нева"	Фибропенозолобетон средней плотностью 730 кг/м^3 на золе сланцевой циклонной очистки Прибалтийской ГРЭС состава цемент : зола = 1 : 1,25 с В/Т =0,42			1,0	
Фибра параполиамидная	Фибропенобетон средней плотностью 552 кг/м^3, прочностью при сжатии 2,4 МПа, прочностью при растяжении 1,6 МПа (с заполнителем – мел крупнос-тью 1,25мм – 39%) (патент РФ № №2206544. 2003 г.)			0,1	
Полипропиленовая фибра		0,1			0,6-1,0
Синтетическая добавка на основе полипропилена длиной 1,5-11,5 мм	Неавтоклавный фибропенобетон марок по плотности D 350-D800		1,0–3,0 соответствующее наибольшей трещиностойкости		2,05–2,85 (для плотностей D350-600), 10 (для плотности D800)
Фиброволокно-ПП (полипропилен С3Н6) по ТУ 5743-001-33181465-2006	Фибропенобетон				0,6-2

Продлжение таблицы П.6.1

Микроармирующее волокно (ВСМ) из полипропилена марок ВСМ-II-R0,02-20/6; ВСМ-II-R0,02-20/12; ВСМ-II-R0,02-20/18	Фибропенобетон				0,6–0,9
Микроармирующее волокно (ВСМ) диаметром 20-50 мкм и длиной 3-18 мм.	Ячеистый фибробетон средней плотностью 550 кг/м^3, прочностью при сжатии 2,6 МПа, прочностью при растяжении 1,9 МПа (с заполнителем – керамзитом дробленым крупностью 0-5мм) – 32% и модифицирующей добавкой в виде многослойных углеродных нанотрубок диаметром 8–40 нм и длиной 2–50 мкм –0,4%. (Патент РФ №2422408, 2011 г.)			3,0	
Полипропиленовое волокно по ТУ 5743-001-33181456	Фибропенобетон плотностью 1170–1380 кг/м^3 с содержанием цемента 330 кг/м^3 и 350 кг/м^3			0,1–0,2	
Полипропиленовая фибра (ЗАО «СОТ») по ТУ 5743-001-33181456 и ТУ 5743-001-33181465 Фибра-ПП	Фибропенобетон марки по плотности D1200 по данным **[23]**	μ = 0,6–0,65 – оптимальное содержание, обеспечивающее максимальную прочность при изгибе); μ = 0,2 (оптимальное содержание, соответствующее наименьшим усадочным деформациям)			

Продолжение таблицы П.6.1

Полипропиленовая фибра длиной волокна 12мм по ТУ 5743-001-33181456	Фибропенобетон неавтоклавный марки по средней плотности D1200 для изготовления опытно-промышленной партии пазогребневых плит 600×300×80мм по данным **[23]**				5,46 кг – 0,6% от объема смеси и 1,82 кг – 0,2% от объема смеси в комбинации с базальтовой фиброй
Волокно полипропиленовое **[2]**	Фибропенобетон марки по плотности D350-D600			0,5-1	
	Фибропенобетон марки по плотности D800, классов по прочности В2,5–3,5				10
Полипропиленовое волокно «Фибрин» **[2]**	Неавтоклавный фибропенобетон для изготовления мелких стеновых блоков марок по плотности D350-D600				2,05-2,85
Полипропиленовая фибра	Фибропенобетон средней плотностью 546 кг/м^3, прочностью при сжатии 2,0 МПа, прочностью при растяжении 1,4 МПа (с вяжущим –ВНВ – 45%,заполнителем – дробленый керамзит крупностью до 5мм – 34% (патент РФ №2206544. 2003 г.)			2,4	
Фибра из поливинилспиртового волокна (ПВС – волокно, «винол»).	Ячеистофибробетонная смесь (Патент РФ№2206544, 2003 г.)			0,9	
Стеклянное волокно диаметром 15-35 мкм и длиной 12-15 мм Наполнители – полые стеклянные микросферы марки МС-ВП-А9* диаметром 20-160 мкм – 8-28%.	Ячеистый фибробетон средней плотностью 521–584 кг/м^3, прочностью при сжатии 4,2–4,7 МПа, прочностью при растяжении 2,7–2,83 МПа (Патент RU 2568207 C1).			2,0 (8-28 – полые стеклянные микросферы)	

Продолжение таблицы П.6.1

Стекловолокно	Фибропенобетон теплоизоляционный средней плотностью 168 кг/м^3, прочностью при сжатии 0,62 МПа, прочностью при растяжении 0,3 МПа (с вяжущим – строительный гипс марки Г7-55%, заполнителем – пенополистирол крупностью < 10 мм – 1,5%) (патент РФ №2206544. 2003г.)			12	
Стекловолокно	Фибропенобетон средней плотностью 782 кг/м^3, прочностью при сжатии 1,8 МПа, прочностью при растяжении 1,2 МПа (с вяжущим –шлакопортланд-цемент – 55%, заполнителем – пенополистирол крупностью <15мм – 1,5%) (патент РФ №2206544. 2003г.)			12	
Щелочестойкое стекловолокно длиной 2-3см	Шлакощелочной фиброгазобетон марки по средней плотности D400 по данным (патент РФ №2123484)			0,331-0,333	1,71-1,73
	Шлакощелочной фибропенобетон марки по средней плотности D600 по данным (патент РФ №2123484)			0,347-0,349	2,58-2,60
	Шлакощелочной теплоизоляционный фибропенобетон марки по средней плотности D150 по данным (патент РФ №2123484)			0,263-0,272	0,65-0,67
Углеродная фибра Модифицирующей добавка в виде многослойных углеродных нанотрубок диаметром 8-40 нм и длиной 2-50 мкм	Ячеистый фибробетон средней плотностью 550 кг/м^3, прочностью при сжатии 2,6 МПа, прочностью при растяжении 1,9 МПа.			0,4	

Продолжение таблицы П.6.1

Углеродная фибра специальной обработки FibARM Fiber C по СТО 75969440-020-2011 и FibARM Fiber WB» по СТО 61664530-024-2012					Дозировка начинается с 0,5 кг/м^3 готовой смеси, может составлять до 4 кг/м^3 в зависимости от требований к прочности
Базальтовая фибра (пр-ва ОАО «Ивотстекло») по ТУ 5952-036-05328981;	Фибропенобетон марки по плотности D1200	$\mu = 0,6$ – оптимальное содержание, обеспечивающее максимальную прочность при изгибе; $\mu = 0,8$- оптимальное содержание, соответствующее наименьшим усадочным деформациям)			
Базальтовая фибра по ТУ 5952-036-05328981 длиной волокна 12мм	Фибропенобетон неавтоклавный марки по средней плотности D1200 для изготовления опытно-промышленной партии пазогребневых плит 600×300×80мм по данным **[23]**				11,2кг – 0,4% от объема смеси в комбинации с полипропиленовой фиброй

Продолжение таблицы П.6.1

Базальтовое волокно диаметром 13-17мкм, длиной 6-12мм (Патент РФ №2422408, 2011 г.)	Ячеистый фибробетон средней плотностью 730 кг/м^3, прочностью при сжатии 4,12 МПа, прочностью при растяжении 2,1 МПа с модифицирующей добавкой в виде многослойных углеродных нанотрубок диаметром 8–40 нм и длиной 2–50 мкм – 0,4%			10	
Базальтовая фибра	Фибропенобетон средней плотностью 743 кг/м^3, прочностью при сжатии 3,78 МПа, прочностью при растяжении 1,9 МПа (с вяжущим – НЦ–42%, заполнителем – гранитная крошка крупностью до 1,25мм – 28%) (патент РФ РФ №2206544. 2003г.)			12	
Асбестовое волокно Отходы асбестоцементного производства	Ячеистый фибропенобетон на известково-песчаном вяжущем		12–30		
Асбест хризотиловый марки К-6-20 и К-6-30 длиной волокна 0,7-1мм	Фибропенобетон марки по плотности D600			4 при В/Т = 0,75;	
Хризотиловая фибра хризотил-асбест («ОАО НИИпроектасбест», г. Асбест) марок А-6-50, А-5-70 и А-6К-30.	Фибропенобетон плотностью 1253-1255 кг/м^3	μ = 0,6–0,65 (оптимальное содержание для прочности при изгибе) μ = 0,4 (оптимальное содержание, соответствующее наименьшим усадочным деформациям)			

Окончание таблицы П.6.1

Древесная фибра	Фибропенобетон плотностью 600 кг/м^3 прочностью при сжатии 2,4 МПа, при изгибе – 1,1 МПа.		1,0		
Древесная фибра	Фибропенобетон плотностью 800 кг/м^3 прочностью при сжатии 4,6 МПа, при изгибе – 2,1 МПа.		10		
Целлюлозные волокна	Фиброгазобетон плотностью 300–400 кг/м^3		0,5–1,5		

Приложение 7 (рекомендуемое)
РЕКОМЕНДУЕМЫЕ СОСТАВЫ ЯЧЕИСТОГО ФИБРОБЕТОНА

Таблица П.7.1 – Составы фибропенобетона классов по плотности D350, D600 приготовленные из многокомпонентной сырьевой шихты

Средняя плотность пенобетона, кг/м^3	Характеристика составов пенобетона								Показатели физико-механических свойств пенобетонов					
	вяжущее		Отношение массы песка к массе вяжущего	Содержание порообразователя СПО, в% от сухих материалов	расход добавок,% от сухих материалов			В/Т	Средняя плотность, кг/м^3	Прочность при сжатии, МПа	Морозостойкость, цикл	Усадочные деформации, мм/м	Коэффициент теплопроводности в сухом состоянии, Вт/м °С	Отпускная влажность,% масс
	Портландцемент М500 Д0	Тонкомолотое вяжущее ТСМ			С-3 по ТУ	УП	Волокно полипропиленовое							
D350	220	–	0,41	1,0	0,8	1,4	1,0	0,33	360	0,54	–	–	0,09	менее 25
D350	–	330	0,5	1,4	0,11	1,6	1,0	0,35	353	0,687	–	–	0,09	менее 25
D600	285	–	1,0	0,8	0,75	1,1	0,5	0,22	596	2,55	более 35	1,6	0,13	менее 12
D600	600	570	0,5	0,9	0,75	1,0	0,5	0,24	611	3,14	более 35	1,7	0,135	менее 12

Примечание: Портландцемент Белгородского завода по ГОСТ 10178 «Портландцемент, шлакопортландцемент, пуццолановый портландцемент и их разновидности»; глиноземистый цемент по ГОСТ 9552; гипс строительный по ГОСТ 401374; известь-кипелка Ступинского завода по ГОСТ 9179 «Известь строительная»; доменный Нижнетагильский кислый гранулированный шлак по ГОСТ 3476; порообразователь СПО по ТУ -6-00-576-3650-86-89.

ТСМ – тонкомолотое вяжущее, состоящее из портландцемента, доменного гранулированного шлака, глиноземистого цемента и гипса при отношении массы шлака к массе цемента – 0,4±0,05, отношении массы глиноземистого емента к массе гипса – 0,3±0,1 и содержании гипсоглиноземистой смеси в вяжущем – 15-20%.

УП – ускоритель твердения – УП-1 по ТУ 5870-086-46854090-99;

СПО – порообразователь по ТУ -6-00-576-3650-86-89

Таблица П.7.2 – Рекомендуемые составы фибропенобетонных смесей для изготовления неавтоклавного фибропенобетона марки по плотности D800, классов по прочности В2,5–3,5

Наименование компонентов	Расход материалов на 1 м^3, кг
Вяжущее: - портландцемент М500 Д0 по ГОСТ 10178	400
Кремнеземистый компонент: - немолотый кварцевый песок по ГОСТ 8736 с модулем крупности 1,1–1,8	350
Добавки: - глиноземистый цемент по ГОСТ 9552 - гипс строительный по ГОСТ 401374 - волокнистая добавка из полипропилена - пластифицирующая добавка ЛСТМ (С-3)	 50 50 10 3
Порообразователь СПО по ТУ-6-00-576-3650-86-89	1,5
Вода по ГОСТ 23732	280

Таблица П.7.3 – Рекомендуемые составы неавтоклавного фибропенобетона для изготовления мелких стеновых блоков

Наименование технологических факторов	Наименование показателей	Единица измерения	Рекомендуемые величины			
			D 350	D 350	D 600	D 600
Расход сырьевых материалов	Портландцемент М500 по ГОСТ 10178	кг/м^3	220	–	285	–
	ТСМ	кг/м^3	–	330	–	570
	Песок по ГОСТ 8735	кг/м^3	110	–	285	–
	Зола-унос	кг/м^3	(110)	–	(285)	–
	Порообразователь СПО по ТУ -6-00-576-3650-86-89	кг/м^3	2,2	2,4	1,8	2,0
	Водоредуцирующая добавка С-3 по ТУ	кг/м^3	1,7	1,7	2,0	2,0
	Полипропиленовое волокно «Фибрин»	кг/м^3	2,5	2,5	2,85	2,05
	Вода по ГОСТ 23732	кг/м^3	100	110	130	140

Примечание: ТСМ – тонкомолотое вяжущее с содержанием минерльных добавок (шлака, песка, золы) менее 50%, удельной поверхностью – 400–500 м^2/г, с началом схватывания – не позднее 1,5–2 ч и концом схватывания – не позднее 2–5 ч.

Таблица П.7.4 – Составы фибропенобетонных смесей с полиамидным волокном по данным (Патент RU (11) 2226517 (13) C2)

Содержание компонентов, мас.% (доля от массы твердых компонентов)							Показатели свойств составов				
Портландцемент М500	Кремнеземистый компонент (кварцевый песок, модуль крупности 2,0)	ПАВ* - сульфонат порошок по ТУ-6-00-576-3650-86	Стабилизатор - алюминат натрия	Суперпластификатор С-3 по ТУ-6-36-020-4229-625-90	Полиамидные волокна ГОСТ 22693-98	Водотвердое отношение	Средняя плотность, кг/м^3	Прочность при сжатии, кгс/м^2	Прочность на растяжение при изгибе МПа	Усадочные деформации, мм/м	Влажность, мас.%
90	5	1,0	0,75	0,5	2,75	0,6	350	6,5	0,147	-	-
70	22,15	1,5	0,75	1,5	3,5	0,36	250	8,7	0,402	-	11,0
65	28,1	1,4	1,0	0,5	4,0	0,35	400	12,2	0,59	-	12,5
57	33,7	1,3	1,5	1,5	5,0	0,28	750	48,0	1,187	1,25	9,1
51	40,0	1,2	0,75	1,0	5,5	0,35	615	35,0	1,06	1,36	12,7
43	45,0	2,0	2,5	1,5	6,0	0,25	1000	110,0	4,12	1,12	7,5

Примечание: Для приготовления фибропенобетонной смеси используют:
– портландцемент М500;
– кремнеземистый компонент – кварцевый песок с модулем крупности 2,0;
– ПАВ – сульфонат-порошок ТУ-6-00-576-3650-86 или лаурилсульфат натрия ТУ-6-01-7-89;
– суперпластификатор С-3 ТУ-6-36-020- 4229-625-90;
– стабилизатор – алюминат натрия;
– волокна полиамидные по ГОСТ 22693-98

Таблица П.7.5 – Составы фибропенобетонных смесей марки по средней плотности D600 с основными физико-механическими свойствами

Вид ячеистого бетона	Вяжущее	В/Т	Содержание асбестаК-6-20,%	Показатели свойств составов			
				Средняя плотность, кг/м^3	Прочность на растяжение при изгибе $R_р$, МПа	Прочность при сжатии $R_{сж}$, МПа	$R_р/R_{сж}$
Пенобетон	ПЦ-500	0,75	**4**	600	1,05	6,6	0,16

Примечание: В составах применялись:

- пенообразователь, полученный на основе мыльного корня;
- газообразователь – алюминиевая пудра ПАП-1 и ПАП-2, удовлетворяющая требованиям ГОСТ 5494-71 «Пудра алюминиевая пигментная». В качестве ПАВ для гидрофилизации частиц алюминиевой пудры применялся сульфанол, удовлетворяющий требованиям ТУ 6-01-1001-75;
- асбест хризотиловый марки К-6-20 и К-6-30 с длиной волокон 0,7–1 мм.

Таблица П.7.6 – Опытный состав ячеистофибробетонной смеси с дисперсным армированием полимерным волокном (ВСМ) (Патент РФ №2422408, 2011 г.)

Компоненты, мас.							Характеристиуи бетона		
Вяжущее	Заполнитель	Пенообразователь	Фибра	Суперпластификатор	Модифицирующая добавка	Вода	Средняя плотность, кг/м^3	Прочность при сжатии, МПа	Прочность на растяжение при изгибе МПа
Портландцемент ПЦ 500 – 45%	Керамзит дробленый крупностью 0-5мм 32%	ПБ-2000 2%	Полимерное волокно строительное микроармирующее (ВСМ) диаметром 20-50мкм, длиной 3-18мм 3%	«Sika Visko-Crete-3» 0,2%	Многослойные углеродные нанотрубки диаметром 8-40мм, длиной 2-50мкм 0,4%	17,4%	550	2,6	1,9
Портландцемент ПЦ 500 40%	Кварцевый песок с $М_{кр}$ 1,8-2,0 32%	ПБ-2000 2%	Базальтовое волокно диаметром 13-17мкм, длиной 6-12мм 10%	Суперпластификатор («Sika Visko-Crete-3») 0,2%	Многослойные углеродные нанотрубки диаметром 8-40мм, длиной 2-50мкм 0,4%	15,4%	730	4,12	2,1

Примечание: В опытном составе использовались:

– в качестве вяжущего – портландцемент марки 500 Серебряковского цементного завода;

– в качестве заполнителя – керамзит дробленый крупностью 0-5 мм или кварцевый песок с модулем крупности 1,8-2,0;

– в качестве порообразователя – пенообразователь ПБ-2000 по ТУ 2481-185-05744685-01;

– в качестве дисперсной арматуры – полимерное волокно строительное микроармирующее (ВСМ) диаметром 20-50 мкм и длиной 3-18 мм или базальтовое волокно диаметром 13–17 мкм и длиной 6–12мм;

– модифицирующая добавка – многослойные углеродные нанотрубки диаметром 8-40 нм и длиной 2-50 мкм.

Способ приготовления указанной выше сырьевой смеси включает предварительную обработку суперпластификатора с водой и нанотрубками в течение 30–60 секунд в ультразвуковом диспергаторе с частотой 20 кГц, перемешивание в смесителе полученной суспензии с портландцементом марки 500, заполнителем, пенообразователем ПБ-2000 и волокном в течение 5–6 минут.

Таблица П.7.7 – Опытный состав ячеистофибробетонной смеси с дисперсным армированием полимерной фиброй (Патент РФ№2206544, 2003 г.)

Составы	Вид и массовая доля					Кол-во воды	Средняя плотность, кг/м^3	Прочность, МПа		Геометрический параметр фиброволокна (ℓ/F)
	Вяжущее	Заполнитель	Порообразователь	Фибра	Добавки			При сжатии	Растяжение при изгибе	
1	ПЦ 500 41%	Мел крупностью до 1,25мм 39%	ПО-6 0,01%	Параполиамидная 0,1%	$CaCl_3$ 0,001%	19,889%	552	2,4	1,6	125000
2	Строительный гипс марки Г7 55%	Пенополистирол крупностью до 10мм 1,5%	Пеностром 0,01%	Стекловолокно 12%	С-3 0,001%	31,489%	168	0,62	0,30	82000
3	НЦ 42%	Песок крупностью до 2,5мм 37%	КК* 0,5%	Винол*** 0,9%	ГСН** 0,3%	19,3%	754	3,4	1,8	54000
4	ВНВ 45%	Дробленый керамзит крупностью до 5мм 34%	Смолосапониновый 1,0%	Полипропиленовая 2,4%	NaCl 0,5%	17,1%	546	2,0	1,4	1300
5	ПЦ 500 41%	Шлам отход хим. водоочистки крупностью до 0,5мм 28%	СМС «Прогресс» 1,2%	Полиамидная 1,3%	$FeCl_3$ 0,5%	10%	515	2,18	1,7	58000

Окнчание таблицы П.7.7

6	НЦ 42%	Гранитная крошка крупностью до 1,25мм 28%	ПО-6 2,5%	Базальтовая 12%	$AlCl_3$ 1,5%	15%	743	3,78	1,9	420
7	ШПЦ 55%	Пенополи-стирол круп-ностью до 15мм 1,5%	ПО-3НП 2,5%	Стекло-волокно 12%	–	29%	782	1,8	1,2	92

Примечание: КК* – клеесанифольный пенообразователь; ГСН** – гранулированный сульфат натроия;
*** – поливинилспиртовое волокно (ПВС – волокно).

Таблица П.7.8 – Опытный состав ячеистофибробетонной смеси с дисперсным армированием полиамидной фиброй (Патент 2133244, RU, 20.07.99, бюл. 20)

Вид и массовая доля					Кол-во воды	Средняя плотность, кг/м^3	Прочность, МПа	
Вяжущее	Заполнитель	Порообразо-ватель	Фибра	Добавки			При сжа-тии	Растяжение при изгибе
ПЦ 500 30%	Дробленая порода крупностью 1,25мм 30%	ПО-3НП 0,2%	Полиамидная 1,0%	–	38,8%	622	2,29	–

Таблица П.7.9 – Опытный состав ячеистофибробетонной смеси с дисперсным армированием стеклянной фиброй (Патент RU 2 568 207 C1)

№ состава	Содержание компонентов, мас.%							Показатели свойств составов		
	Портландцемент ПЦ 500	Кремнеземистый компонент (кварцевый песок, с модулем крупности 1,7)	Наполнитель (полые стеклянные микросферы диаметром 20-160 мкм)	Пенообразователь ПБ-Люкс	Стеклянное волокно диаметром 15-35 мкм, длиной 12–15мм	Суперпластификатор («Полипласт СП-3»)	Вода (**В/Т**)	Средняя плотность, кг/м^3	Прочность при сжатии, МПа	Прочность на растяжение при изгибе МПа
1	43	28	8	1	2	0,4	17,6 (**0,214**)	584	4,6	2,8
2	43	18	18	1	2	0,5	17,5 (**0,212**)	548	4,7	2,83
3	43	8	28	1	2	0,6	17,4 (**0,211**)	521	4,2	2,7

Примечание: Для упрочнения ячеистой смеси на микроуровне применялась дисперсная арматура (фибра) в виде щелочестойкого стеклянного волокна диаметром 15-35 мкм и длиной 12-15 мм с прочностью на разрыв до 3800 МПа, пенообразователь «ПБ-Люкс» в соответствии с ТУ 2481-004-59586231-2005. В качестве суперпластификатора использовалась добавка «Полипласт СП-3», которая согласно ТУ 5870-006-58042865-05 представляет собой смесь полинафталинметиленсульфоната натрия, лигносульфонатов технических, промышленной смеси тиосульфата и роданида натрия. В качестве наполнителя использовались полые стеклянные микросферы марки МС-ВП-А9* диаметром 20-160 мкм по ТУ 6-48-91-92; кремнеземистый компонент – кварцевый песок с модулем крупности 1,7.

Таблица П.7.10 – Ориентировочный номинальный состав фибропенозолобетона классов В2,5-В5 с полимерной фиброй с основными физико-механическими свойствами [18]

В/Т	Количество С-3, в% Ц	Отношение цемент:зола	Кол-во полимерной фибры μ,% мас.	Свойства фибропенозолобетона		
				Средняя плотность, кг/м^3	R_{bt}, МПа	R_b, МПа
0,7	0	1 : 1,25	0,5	730	1,3	3,9
			1,0	720	2,0	4,2
	0,5		0,5	715	1,5	4,1
			1,0	705	2,4	4,6
0,5	0		0,5	755	2,0	4,0
			1,0	740	2,9	4,5
	0,5		0,5	720	2,4	4,3
			1,0	705	3,2	4,9

Таблица П.7.11 – Состав фибропенозолобетона плотностью 730 кг/м^3, армированного капроновыми волокнами [18]

В/Т	Отношение Цемент : зола	Кол-во полимерной фибры (волокна капроновые (d=0,02мм, l =20мм) из промышленных отходов ПО"Нева") μ,% мас.	Средняя плотность кг/м^3
0,42	1:2,5	1	730

Примечания: 1. В составе использовалась зола сланцевая циклонной очистки Прибалтийской ГРЭС;
2. В качестве порообразователя применялся клееканифольный пенообразователь.

Таблица П.7.12 – Составы фибропенобетона с дисперсным армированием полипропиленовой фиброй [23]

Цемент, кг/м^3	Песок, кг/м^3	МП-1, кг/м^3	Фибра,% по объему	В/Т	Средняя плотность, кг/м^3	Прочность на сжатие, МПа
330	460	290	0,1	0,24	1175	4,1
330	460	290	0,2	0,24	1170	3,8
350	460	270	0,1	0,26	1160	4,3
350	460	270	0,2	0,26	1215	4,4
350	140	600	0,1	0,28	1254	5,7
350	370	370	0,1	0,24	1260	5,4
350	500	240	0,1	0,22	1294	5,0
350	600	140	0,1	0,19	1380	6,4

Примечание: В составе применялись

– в качестве дисперсного армирования использовалась полипрпиленовая фибра (ЗАО «СОТ») по ТУ 5743-001-33181456;

– в качестве вяжущего – портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н по ГОСТ 31108 пр-ва завода ООО «ЛСР. ЦЕМЕНТ-СЗ» (г. Сланцы Ленинградской области);

– кремнеземистый компонент – речной песок (ОАО «Новгородский порт»), модуль крупности Мкр= 2,2 по ГОСТ 8736;

– минеральный порошок МП-1 (неактивированный) ОАО «Новоизборский комбинат нерудных материалов» производится в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52129, характеристики МП-1 представлены в таблице 4.34;

— в качестве порообразующего вещества применялся 6% раствор белкового пенообразователя *Laston*.

Таблица П.7.13 Составы фибропенобетона с дисперсным армированием полипропиленовым, базальтовым и хризотиловым волокном [23]

Цемент, кг/м^3	Песок, кг/м^3	Минеральный порошок МП-1, кг/м^3	Фибра,% об.	В/Т	Средняя плотность, кг/м^3
фибропенобетон с полипропиленовым волокном					
300	480	300	0,1	0,26	1240
			0,2		1181
			0,4		1189
			0,6		1221
			0,8		1405
фибропенобетон с базальтовым волокном					
300	480	300	0,1	0,26	1222
			0,2		1256
			0,4		1269
			0,6		1234
			0,8		1331
фибропенобетон с хризотиловым волокном					
300	480	300	0,1	0,26	1248
			0,2		1177
			0,4		1253
			0,6		1255
			0,8		1323

Примечание:

1. В качестве дисперсного армирования использовалась полипрпиленовая фибра (ЗАО «СОТ») по ТУ 5743-001-33181456, базальтовая фибра (ОАО «Ивотстекло») по ТУ 5952-036-05328981; хризотил-асбест («ОАО НИИпроектасбест», г. Асбест) марок А-6-50, А-5-70 и А-6К-30
2. Введение армирующих волокон в количестве более 0,8% по объему в рамках принятой технологии не позволяет добиться требуемой плотности

Таблица П.7.14 – Состав заводской фибропенобетонной смеси для изготовления опытно-промышленной партии пазогребневых плит 600х300х80мм из неавтоклавного фибропенобетона марки по средней плотности D1200 по данным [23]

Наименование материалов	Ед. изм.	Состав 1	Состав 2
		Расход на 1м^3	
Цемент Сланцевского цементного завода ЦЕМ I 42,5 Н	кг	475	300
Минеральный порошок МП-1 (неактивированный) Угловского известкового комбината	кг	205	300
Песок речной	кг	400	480
Пенообразователь протеиновый «Laston» (Италия)	л	1,5	1,5
Полипропиленовая фибра длиной волокна 12 мм	кг	5,46	1,82
Базальтовая фибра длиной волокна 12 мм	кг	-	11,2

Примечание: 1.Состав 1 – применяемый на заводе состав с 0,6% об. полипропиленовой фибры; Состав 2 – разработанный состав со смесью полипропиленовых и базальтовых волокон в соотношении 0,2 и 0,4% по объему.

2. Характристики полученного фибропенобетона следующие: прочность на сжатие – 5,1МПа; прочность на растяжение при изгибе – 3,1МПа; значения усадочных деформаций – 1,3мм/м на 28 сутки и 1,5мм/м на 56 сутки.

Таблица П.7.15 – Состав фибропенобетонной смеси с расширяющей добавкой для изготовления опытной партии перегородочных блоков 500×300×80мм по ТУ 5767-033-02069119-2003 «Изделия из фибропенобетона» по данным [15]

Портландцемент М500 ДО, про-ва ООО"Осколцемент"с содержанием трехкальциевого апюмината 7,1%	Песок влажностью, 3,8% по массе	Расширяющая добавка, состоящая из смеси молотого гипсового камня и глиноземистого цемента в соотношении ГК:ГЦ = 6:10	Синтетические волокна длиной 40 мм,	Пенообразователь «Арекон-4»	Вода	Плотность смеси	Пластическая прочность
кг/м^3	кг/м^3	кг	кг	л	л	кг/м^3	Па
355	291	65	5,6	1	220	933	57-59

Примечание: Изготовление фибропенобетонной смеси осуществлялось в смесителе конструкции ЗАО "ФИПЕБ" емкостью 1000 литров.

Таблица П.7.16 – Составы шлакощелочного фибропенобетона марки по средней плотности D600 и D150 со стекловолокном по данным (Патент Российской Федерации RU2123484)

Расход материалов, кг/ мас.%				Прочность на сжатие, МПа
Доменный гранулированный молотый шлак с удельной поверхностью 380–400 кг/м^3, кг/м^3	Щелочной компонент – низкомодульное жидкое стекло с силикатным модулем 2,0, плотностью – 1,30 г/см^3, кг/м^3	Пенообразователь (окись алкилдиметиламина + вода + стабилизатор пены в количестве 4–5%), кг/м^3	Щелочестойкое стекловолокно длиной 2-3 см	
фибропенобетон D600				
467/62,882	165/22,218	108,08/14,553	2,58/0,347	4,2
474/63,565	160/21,457	109,09/14,629	2,60/0,349	4,6
470/63,157	163/21,903	108,59/14,592	2,59/0,348	4,4
фибропенобетон D150				
91/36,847	54/21,865	101,32/41,025	0,65/0,263	0,32
89/36,04	56/22,677	101,3/41,02	0,65/0,263	0,38
95/38,630	49/19,926	101,25/41,172	0,67/0,272	0,36

Примечание: Раствор пенообразователя с водой в соотношении 1:100

Приложение 8

СПИСОК ПАТЕНТОВ

1. Патент Российской Федерации RU2123484 «Шлакощелочной ячеистый бетон» / Белякова Ж.С., Величко Е.Г., Зубенко В.М., Рахманов В.А.,Толорая Д.Ф. Патентообладатель: Всероссийский федеральный научно-исследовательский и проектно-конструкторский технологический институт строительной индустрии «ВНИИжелезобетон». Дата начала действия патента: 18.07.1996.

2. Патент РФ №2082698 «Сырьевая смесь для приготовления конструктивно-теплоизоляционного ячеистого бетона» / Багров Б.О.; Васильева Т.Д. Заявл. 94030387/03 от 19.08.1994. Опубл. 27.06.1997.

3. Патент РФ №2141930 «Способ приготовления белкового пенообразователя для получения пенобетона» / Соломатов В.И., Черкасов В.Д., Бузулуков В.И. Заявл. 21.04.1998. Опубл. 27.11.1999. Бюл. №21.

4. Патент РФ №2422408, 2011 г. Сырьевая смесь для изготовления ячеистых материалов и способ ее приготовления / Перфилов В.А., КотляревскаяА.В., Кусмарцева О.А. Заявл. 2010117464/03 от 30.04.2010. Опубл. 27.06.2011. Бюл. № 18.

5. Патент RU (11) 2226517 (13) C2 «Способ получения ячеистого бетона неавтоклавного твердения» / Ухова Т.А.; Вотинцев В.С. Заявл. 09.08.2001. Регистрационный номер заявки: 2001122290/03. Опубл. 10.04.2004.

6. Патент РФ №2206544, Сырьевая смесь для изготовления ячеистых материалов и способ ее приготовления / Моргун Л. В., Моргун В.Н. Заявл. 17.05.2001. Регистрационный номер заявки: 2001113586/03. Опубл. 20.06.2003 г.

7. Патент RU №2133244, RU, Сырьевая смесь для изготовления ячеистых бетонов / Моргун Л.В. Заявл. 29.09.1997г. Опубл. 20.07.99, бюл. 20.

8. Патент RU 2 568 207 C1 Ячеистая фибробетонная смесь / Перфилов В. А. Заявл. 27.10.2014 Регистрационный номер заявки: 2014143293/03. Опубл. 10.11.2015 Бюл. № 31.

Патентообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет" (ВолгГАСУ).

9. Патент РФ 2143413, С 04 В 38/10, 1999 Пенообразующая добавка ПО-1 при изготовлении пенобетонных смесей.

10. Патент РФ 2136634, С 04 В 38/10, 1999 Пенообразующая добавка ПО-6НП при изготовлении пенобетонных смесей.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Отчет по теме: «Провести физико-химические исследования: – новых видов малоклинкерных золосульфосодержащих вяжущих; – минеральных высокомодульных волокон в качестве неметаллической арматуры. Этап 1. Подготовить отчет по результатам физико-химических исследований: – новых видов малоклинкерных золосульфосодержащих вяжущих; – разных видов волокон и неметаллической арматуры на их основе. НИИЖБ Госстроя РФ, М., 1994.

2. Научно-технический отчет по проекту 03.04.02.001. подпрограммы «Стройпрогресс»: Разработка и создание теплоизоляионных материалов на основе эффективных бетонов ячеистой структуры, плотностью 150-800 кг/м3 и оборудования для их изготовления», М., 1999.

3. Научно-технический отчет по теме: «Разработать научные основы создания нового поколения несущих кострукций из высокопрочных (классов В700-В100) бетонов и ограждающих конструкций с использованием особо легких (250-400кг/м3) бетонов и других современных теплоизоляционных материалов». Этап «Разработать теплоизоляционный полистиролбетон, модифицированный «лигнопаном» и «волластонитом», с улучшенными реологическими свойствами смси и сповышенной прочностью», ГУП НИИЖБ, М., 1999.

4. «Отчет о научно-исследовательской и опытно-конструкторской работе по определению нормируемых параметров новых видов бетона, арматуры и заполнителей по теме: «Исследование свойств и определение нормируемых параметров бетонов с композитной неметаллической фиброй, предназначенных для изготовления бетонных изделий и конструкций», РИА, Секция «Строительство», Москва 2017.

5. Акимов Александр Владимирович. Диссертация кандидата технических наук «Разработка ячеистого дисперсно-армированного бетона автоклавного твердения модифицированного активными минеральными добавками».- Иваново, 2016.

6. Автореферат диссертации по теме "Мелкозернистый бетон высокой коррозионной стойкости, армированный тонким базальтовым волокном". Бучкин Андрей Викторович Москва, 2011 г.

7. Веселова С.И. Пенобетон на базе отходов камнедробления /С.И. Веселова, С.А.Черевко, И.О.Суворов // Вестник гражданских инженеров. – СПб: СПбГАСУ, 2010.- №4(25).- С.116-119.

8. Лаповская С. Д., Волошина Т. Н., Гаврилюк В. П. Ячеистый бетон автоклавного твердения с улучшенными физико-техническими характеристиками.//Бетон и Железобетон 2012-2.

9. Лаповская С.Д., Лихвар Т. //Применение базальтовой микрофибры для армирования теплоизоляционного автоклавного газобетона // Опыт производства и применения ячеистого бетона автоклавного твердения: Доклады 10-ой юбилейной международной науно-практичесой конференции – Минск-Могилев, 29-31 мая 2018 г. С.50–53.

10. Лобанов И.А., Пухаренко Ю.В. Ячеистый фибробетон для ограждающих конструкций и теплоизоляционных изделий /Л.: ЛенЦНТИ, информ. Листок №777-89, 1989. 4 с.

11. Лотов В.А., Митина Н.А., Ситников А.С., Никандрова О.С. Фиброгазобетон неавтоклавного твердения //Техника и технология производства теплоизоляционных материалов из минерального сырья: Доклады VII Всероссийской научно-практической конференции – Белокуриха Алтайского края, 22 – 24 мая 2007 г. – Москва: ЦЭИ «Химмаш», 2007. – с. 96–100.

12. Максимов А.Н. Фибробетон, армированный волокнами минеральной ваты: Фибробетон и его применение в строительстве/ Б.А.Крылов, К.М.Королева. М., НИИЖБ,1979. С.46–51.

13. Махова М.Ф., Гребенюк Н.П. Армирование портландцемента базальтовыми волокнами: Сб. Фибробетон и его применение в строительстве/ Б.А.Крылов, К.М.Королева. М., НИИЖБ,1979. С.57–60.

14. Митина Н.А., Лотов В.А. Перспективы использования дисперсного армировния теплоизоляционных ячеистых бетонов. Томский политехнический университет, г.Томск, пр.Ленина, 30.

15. Моргун В.Н. Структурообразование и свойства фибропенобетонов неавтоклавного твердения с компенсированной усадкой. Дисс. на соискание ученой степени канд.техн.наук: 05.23.05 / Моргун Владимир Николаевич. , Ростов –на-Дону., 2004.

16. Моргун В.Н., Талпа Б.В. Влияние вида диперсной арматуры на свойства пенобетонов.// Строительные материалы. №6, 2008, С.48–49.

17. Низина Т.А., Пономарев А.Н., Балыков А.С. «Мелкозернистые дисперсно-армированные бетоны на основе комплексных модифицирующих добавок», Строительные материалы, №9, 2016. С.68–72.

18. Пухаренко Ю.В. «Фиброармированные бетоны: свойства и применение в строительстве». Учебное пособие. Санкт-Петербург, 2016.

19. Пухаренко Ю.В. «Особенности технологии ячеистого фибробетона». Строительный журнал «Весь Бетон».

20. Рабинович, Ф. Н. Композиты на основе дисперсно армированных бетонов: Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции / Ф. Н. Рабинович. – М.: АСВ, 2011. – 646 с.

21. Сари М., Лекселент Дж., Решерш Р. Армированные волокнами вяжущие композиционные материалы: вклад полиамидных волокон.// В кн.: Современные технологии сухих смесей в строительстве "MixBULD". Сб. докладов под общ. редакцией Большакова Э.Л. – С-Петербург, ГУПС, 2001. С.48–60.

22. Соловьева В.Я. Особенности получения пенобетона улучшенного качества / В.Я. Соловьева // Популярное бетоноведение. Ячеистые бетоны в строительстве. – 2008. С. 290–291.

23. Суворов И.О. «Дисперсное полиармирование как способ снижения усадки фибропенобетона». Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Санкт-Петербург, 2015.

24. Хворостухин М.А. Фибробетон, армированный кордным волокном: Фибробетон и его применение в строительстве/ Б.А.Крылов, К.М.Королева. М., НИИЖБ,1979. С.52–57.

25. В.Д.Черкасов, В.И.Бузулуков, Ю.М.Баженов Пенообразователи из белков микробного синтеза для производства яеистых бетонов.//Строительные материалы, №9, сентябрь 2016. С.53–57.

26. Черевко С.А. Неавтоклавный пенобетон на базе отходов камнедробления/ С.А.Черевко, И.О.Суворов, К.И.Николаев // Актуальные проблемы современного строительства – СПб: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2011. Ч.II. С.222–224.

27. Шлегель И.Ф., Шаевич Г.Я., Краснов А.А. // Строительные материалы. – 2008. – №6. С. 45–47.

28. Эстрин С. «Дисперсное армирование». Бетон, железобетон, 16.11.2008.

29. Юдович Б.Э., Зубехин С.А. «Пенобетон: новое в основах технологии». Реферат. Руководство по эксплуатации.

30. «Ячеистый бетон пониженной плотности». БСГ Строительная газета 2012-07-23, Минск.

31. ISO/TC 38/SC. Система международных стандартов.

32. Инструкции по изготовлению изделий из автоклавного ячеистого бетона по комплексной вибрационной технологии (М.,Стройиздат, 1975).

33. Руководство по технологии изготовления ячеистого бетона плотностью 250-300кг/м^3, НИИЖБ. М.1977.

34. СН 277-80 Инструкция по изготовлению изделий из ячеистого бетона.М., Стройиздат 1981.

35. Рекомендации по применению химических добавок при изготовлении ячеистых бетонов. НИИЖБ Госстроя СССР, М.,1982.

36. Рекомендации по изготовлению и применению изделий из неавтоклавного ячеистого бетона. НИИЖБ Госстроя СССР, М., 1986.

37. ВСН 56-97 Ведомственные строительные нормы. Проектирование и основные положения технологии производства фибробетонных конструкций. Департамент Строительства Научно -Техническое Управление НИЦ "СТРОИТЕЛЬСТВО".

38. Технологический регламент на изготовление фибропенобетона плотностью 700...800 кг/м. куб. РГСУ, ООО «Темп», Ростов-на-Дону, 2001.-19 с.

39. РМД 52-01-2006 «Проектирование и возведение ограждающих конструкций жилых и общественных зданий с применением ячеистых бетонов в Санкт-Петербурге». Санкт-Петербург, 2016.

gost.e-ecolog.ru