

***Технологический регламент  
приготовления пенобетона.***

Санкт-Петербург  
2016 г.

## **ОГЛАВЛЕНИЕ**

Содержание	Страница
1. Сущность технологии	3
1.1 Основные характеристики пенобетона	4
2. Процесс получения пенобетона	5
2.1 Материалы для получения пенобетонной смеси	5
2.1.1 Вяжущие материалы	5
2.1.2 Заполнители	5
2.1.3 Вода	6
2.1.4 Пена	6
2.2 Приготовление пенобетонной смеси	7
2.3 Опалубка для заливки бетонных изделий и конструкций	8
2.4 Укладка пенобетонной смеси	8
2.5 Подача смеси	8
2.6 Твердение бетона и уход за ним	9
3. Рекомендуемый состав пенобетонной смеси	9

## 1. Сущность технологии

Технология представляет собой производство лёгких ячеистых бетонов с помощью добавки к цементно-песчаной смеси пены. Способ позволяет получать широкий диапазон плотностей бетонов путём изменения дозировки пены непосредственно на месте проведения строительных работ.

Полученный пенобетон в равной степени приемлем как для заливки бетонных конструкций непосредственно на строительной площадке, так и для производства сборных элементов на полигонах и заводах железобетонных изделий, как с естественным твердением, так и с теплообработкой.

Использование пенобетона предоставляет строительным фирмам массу преимуществ в сравнении с традиционными строительными материалами:

- не требуется щебень, гравий, керамзит, известь
- применяется природный, а не молотый песок
- высокая подвижность смеси (более 60 см) позволяет заливать любые формы, скрытые полости
- не требуется вибрация укладываемой смеси, что позволяет заливать тонкие внутренние перегородки (50мм) в вертикальную опалубку
- лёгкая, не требующая высоких инвестиционных затрат, организация выпуска сборных пенобетонных изделий на действующих предприятиях стройиндустрии (достаточно приобретения **пеногенератора** и расходного материала – пеноконцентрата)
- применение бетононасосов устраняет трудоёмкий процесс – распределение бетонной смеси по заливаемой конструкции, в 3-4 раза по сравнению с крановой укладкой снижаются трудозатраты.

Использование пенобетона позволяет выполнить новые, более жесткие нормативы, предъявляемые к теплосохраниющим свойствам строений. Высокие теплоизолирующие свойства пенобетона обусловлены уникальностью порообразования, так как поры равномерно распределены по всему бетонному массиву, имеют одинаковые размеры и 100-процентную закрытость.

Построенное из пенобетона жилье обладает повышенной комфортабельностью и эксплуатационными свойствами:

- прохладой в летний зной
- отсутствием «мостиков холода»
- отличной звукоизоляцией – 60 дБ
- идеальной поверхностью под любой вид декора
- высокой огнестойкостью
- хорошей гвоздимостью стен.

Вследствие высоких теплоизоляционных свойств, стены из пенобетона могут изготавливаться с меньшими толщинами.

Таблица 1. Сравнительная таблица толщин ограждающих конструкций с учетом изменений №3 СНиП II-3-79 «Строительная теплотехника»

Применяемый материал	Первый этап $R_1=2,2$	Второй этап $R_2=3,0$
Кирпич глиняный	1,48 м.	2,20 м.
Кирпич эффективный	1,0 м.	1,5 м.
Керамзитобетон	1,0 м.	1,5 м.
Пенобетон	0,4 м.	0,4-0,5 м.

Таблица 2. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА

№	Характеристики	Ед. изм.	Пенобетон								Обыч. бетон	
			400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800		
1	Средняя плотность сухого образца	кг/м <sup>3</sup>	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	<b>2350</b>	
2	Средняя плотность пенобетонной смеси	кг/м <sup>3</sup>	472	685	907	1103	1316	1509	1712	1935	<b>2450</b>	
3	Коэффициент теплопроводности (сух) ( $\lambda$ )	Вт/м <sup>0</sup> С	0,13	0,17	0,22	0,29	0,38	0,49	0,51	0,53	<b>2,1</b>	
4	Коэффициент теплопередачи – К толщ. стены: 200 мм	ккал/м <sup>2</sup> ч ° С	0,50	0,71	1,10	1,36	1,51	1,63	1,74	1,77	<b>3,24</b>	
			250 мм	0,39	0,58	0,88	1,12	1,29	1,41	1,48	1,54	<b>2,97</b>
			300 мм	0,35	0,49	0,77	0,99	1,11	1,21	1,29	1,35	<b>2,75</b>
			350 мм	0,29	0,43	0,68	0,89	1,00	1,11	1,14	1,20	<b>2,55</b>
			400 мм	0,26	0,40	0,60	0,80	0,90	0,99	1,05	1,09	<b>2,35</b>
5	Акустические характеристики толщ. стены 200 мм	дБ	...	40	42	46	49	51	54	56	<b>57</b>	
			250 мм	...	42	44	49	52	54	56	57	<b>57</b>
			300 мм	...	45	47	52	54	55	57	58	<b>58</b>
			350 мм	...	47	49	54	56	57	58	58	<b>58</b>
6	Водопоглощение	%	...	...	8,5	6,6	5,4	3,8	...	...	<b>5</b>	
7	Модуль упругости	ГПа	...	...	...	2,5	4,0	5,5	6,6	...	<b>28</b>	
8	Прочность на сжатие	кг/см <sup>2</sup>	...	...	...	...	...	...	...	...	<b>200</b>	
			14 дней	9	18	25	31	58	105	138	230	<b>225</b>
			21 день	10	21	30	35	63	115	150	242	<b>238</b>
			28 дней	12	25	35	37	63	120	169	265	<b>250</b>
9	Усадка после 90 дней	%	...	...	0,03	...	0,02	0,02	0,02	0,02	<b>0,015</b>	
10	Морозоустойчивость не менее 25 циклов		не разрушается									
11	Коэффициент ползучести		...	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	<b>2,6</b>	
12	Коэффициент паропроницаемости $\times 10 \angle^2 \text{ m}$	мг/м час Па	...	3,0	2,0	1,15	1,0	0,8	0,6	0,5	<b>0,7</b>	
13	Огнестойкость	мин	120	120	120	120	120	120	120	120	...	

2. Используя объемную опалубку и подачу пенобетонной смеси, можно залить полностью дом, включая фронтоны и крышу. Плотность пенобетона в различных элементах здания проверяется конструкторскими расчетами в соответствии с нагрузками. Для ориентировки рекомендуется плотность:

- теплоизоляционные блоки 300-500 кг/м<sup>3</sup>

- стены и перегородки - 1000 - 1800 кг/м<sup>3</sup>
- половое покрытие - 800 - 1000 кг/м<sup>3</sup>

Пенобетон легко укладывается на любое основание, в том числе и прямо на грунт, поэтому состав и качество подготовки назначается конструктором в зависимости от назначения плиты: выравнивающая, изоляционная, несущая и т.п.

Стены из пенобетона, в зависимости от требований заказчика, можно штукатурить или сразу же красить или клеить обои.

Фасады из пенобетона можно обрабатывать любым удобным или экономичным способом, например:

- окрашивать водоустойчивой дисперсионной фасадной краской
- наносить тонкий слой высококачественной штукатурки
- наносить грунтовку, смешанную с песком
- укладывать в форму перед заливкой облицовочную плитку
- наносить на свежеслитые панели фактурный слой из гальки, мраморной крошки и т.д.
- добавлять красящие пигменты при приготовлении пенобетонной смеси.

## 2. Процесс получения пенобетона

### 2.1 Материалы для получения пенобетонной смеси

#### 2.1.1 Вяжущие материалы

Для приготовления пенобетонной смеси рекомендуется применять портландцемент М400 (либо подобный ему). Оптимальная тонкость помола – при удельной поверхности 3500 см<sup>2</sup>/г (по ГОСТ 10178-89).

Портландцемент по ГОСТ 10178-89 марки 400 с содержанием трехкальциевого силиката не менее 50% и трехкальциевого алюмината не более 6%. С началом схватывания не позднее 2 ч, с концом не позднее 4 ч., после затвердения.

\*\*\*Допускается применение цемента более крупного помола (удельная поверхность 3100-3200 см<sup>2</sup>/г, проход через сито № 008 – не менее 85%) с увеличением нормы расхода цемента на 10 % относительно рекомендуемой. Но тогда процесс затвердевания изделий будет происходить немного медленнее, потребуется более длительная выдержка в опалубке, что снизит ее оборачиваемость, либо пропарка изделий.

Рекомендуемая марка цемента по прочности: 400.

#### 2.1.2 Заполнители

##### **Крупные заполнители**

Щебень, гравий в качестве тяжелого заполнителя не требуются.

Возможно добавление легкого заполнителя (например, керамзит), тогда прочность пористого бетона при той же объемной плотности может возрасти на 100 – 200%.

### **Мелкие заполнители**

Как правило, для приготовления бетонной смеси плотностью до 400-600 кг/м<sup>3</sup> (для кровельных и половых изоляционных покрытий) песок не используется.

Начиная с плотности пенобетона 600 кг/м<sup>3</sup>, в качестве мелкого заполнителя используются природные или дробленые пески. Предпочтительнее применять речной песок. Он должен быть чистым, без каких-либо включений.

Для укладки применяются пески мелкой фракции 0-3 мм. Глинистых включений не должно быть более 2-3%.

### **2.1.3 Вода**

При изготовлении пенобетона рекомендуется применять питьевую воду, без какой-либо проверки.

Содержание воды в пористом бетоне складывается из расчетного количества, необходимого для затворения раствора, и воды, содержащейся в пене.

Перед добавлением пены водоцементное отношение раствора должно составлять минимум 0,38. Слишком низкое значение водоцементного отношения может явиться причиной получения изделия с более высокой, чем заданная, объемной плотностью. Это обусловлено тем, что бетон будет забирать из пены необходимую для химических и физических взаимодействий воду, вызывая частичное разрушение пены, т.е. снижение ее объема в пенобетонной смеси.

Оптимальное соотношение - в интервале от 0,41 до 0,45.

Температура воды не допускается выше +25 °С.

### **2.1.4 Пена**

#### **Пеноконцентрат**

В качестве пенообразователя для получения легкого пористого бетона любой пеноконцентрат целевого назначения. Предлагается использовать клееканифольный пеноконцентрат:

- коэффициент выхода пор  $K = 500$  ( из 1 кг пеноконцентрата – до 500 л пены)
  - поры пены однородные, очень мелкие, закрытой структуры ( $\varnothing \sim 0,1$  мм)
- стойкость пены (50% водоотделение) -  
не менее 10-14 часов - в бетонной смеси

#### **Приготовление пены:**

Пена приготавливается в специальной пеноустановке – пеногенераторе SSM-FC-500 .

Предварительно пеноконцентрат разводится водой в отдельной емкости и заливается в емкость-рессивер пеногенератора.

Разведенный концентрат из емкости поступает под давлением в 4,5-5 кг/см<sup>2</sup> в пеногенератор, вспенивается сжатым воздухом с помощью компрессора пеногенератора.

Качественная пена характеризуется белым цветом и способностью удерживаться в перевернутом вверх дном ведре.

## **Свойства пены:**

Пена, полученная в пеногенераторе SSM-FC-500 по сравнению с другими получается микропористой.

Микропористая пена приводит к образованию большего количества перегородок между воздушными пузырьками, чем в случае с обычной пеной. Содержание воздушных пор в пористом бетоне определяет его объемную плотность и прочность. Уменьшение количества пены приводит к более высоким объемным плотностям.

## **2.2 Приготовление пенобетонной смеси**

Рекомендуется следующая последовательность приготовления смеси: сначала заливается вода, добавляется цемент в соответствии выбранной рецептуре, перемешивается до получения однородной смеси, затем засыпается песок. Далее смесь перемешивается. Перемешивание продолжается до получения однородной пластичной массы.

**Особое значение необходимо придавать качеству перемешивания компонентов!  
Только равномерное распределение цемента в песке обеспечивает оптимальное  
качество пенобетона!**

Затем при помощи пеногенератора определенная порция пены (согласно требуемой объемной плотности бетона) подается по шлангу в смеситель, где в течение примерно 120-180 сек она перемешивается с ранее приготовленной цементно-песчаной смесью. Контролируя задаваемую плотность, можно легко получить необходимую прочность пенобетона на сжатие.

\*На заданный объем смесителя загружаются: вода +цемент +песок далее подается пена (при вращающемся вале смесителя) до заполнения полного объема смесителя.

## **2.3 Опалубка для заливки пенобетонных изделий и конструкций**

Литой пористый бетон требует более герметичную опалубку, чем обычный текущий бетон. Это условие необходимо обеспечить для того, чтобы предотвратить возможное вытекание смеси.

Кроме того, при расчете вертикальной опалубки необходимо учитывать, что за счет увеличения активного слоя бетона боковое давление на опалубку возрастает на 20-30% по сравнению с обычным тяжелым бетоном такой же плотности.

С другой стороны, пенобетон легче обычного бетона и не требует вибрации, поэтому опалубка может быть очень простой конструкции. Можно применять пластмассовую, металлическую, алюминиевую, деревянную (с защитой от впитывания деревом воды из бетона, либо с максимальной пропиткой дерева водой за 1 час до бетонирования).

Для уменьшения адгезии опалубки с бетоном используются эмульсионные смазки. Применение соответствующих смазок оказывает существенное влияние на качество поверхности пористого бетона, обращенного к опалубке. В особой мере это относится к вертикально отливаемым строительным элементам, при изготовлении которых наружная

вибрация опалубки из-за жидкой консистенции пористого бетона не всегда дает желаемый эффект затирки.

Благодаря подвижности пенобетона возможно получение большого числа конструкций любой формы, включая криволинейную.

#### **2.4 Укладка пенобетонной смеси**

Перед укладкой пенобетонной смеси осуществляется армирование и сборка опалубки, устанавливаются и прочно закрепляются:

- оконные и дверные проеомобразователи (с установкой упоров и распорок);
- закладные детали, трубы и прочие элементы для сантехнических, водопроводных, электрических и др. инженерных сетей (трубопроводы необходимо заглушить, чтобы их не заполнило бетоном).

Подвижность пенобетонной смеси превышает 60 см. Тем не менее, даже если ее не использовать довольно длительное время, не происходит расслоения, водоотделения или потери объема как у обычного бетона. Наличие в смеси очень устойчивых пор создает "шаровой эффект", что позволяет обходиться без пластификаторов и легко перекачивать бетононасосом по трубопроводу.

Такая текучая консистенция позволяет легко заполнять опалубку, пустоты и т.д. любой конфигурации и не требует вибрации или уплотнения.

Заливка осуществляется либо прямо в приемную воронку на заливаемой конструкции, либо в опалубку с помощью бетононасоса, бетоноукладчика или бадьи.

При изготовлении сборных изделий заполненную бетоном опалубку не рекомендуется передвигать в течение 3-7 часов, так как это может разрушить ячеистую структуру бетона и снизить его прочность.

#### **2.5 Подача смеси**

Подачу пенобетонной смеси в опалубку можно осуществлять по схеме "кран-бадья", при этом достаточно соблюдать технологическое соответствие способа транспортным средствам.

Заливка по этой схеме - все же очень длительный и неэкономичный процесс. Рациональнее применять бетононасосы. Эффективность их применения особенно проявляется при интенсивности бетонирования свыше 4-6 м<sup>3</sup>/час, а также при бетонировании труднодоступных мест (изоляция междуэтажных перекрытий и т.д.). При этом способе смесь защищена от атмосферных влияний (осадки, жара, холод и т.д.).

Наиболее подходящий для пенобетона - винтовой (червячный) бетононасос. Допускается применение плунжерного (поршневого) насоса, дающего небольшой процент (2-3%) потери воздушных пор. Применение центробежных (лопастных) насосов категорически запрещено ввиду практически полного уничтожения рабочим колесом воздушных пор в смеси.

Оптимальные диаметры всасывающего патрубка и бетоновода должны быть не менее 80 мм.

Заливка должна происходить непрерывно, чтобы избежать холодных швов, образующихся при перерывах более 10-15 минут.

Для этого по возможности используют несколько бадей или насосов и организуют заливку в нескольких местах опалубочной конструкции.



При отсутствии комплекта опалубки для монолитного бетонирования, строительство домов можно вести способом монтажа сборных элементов, которые заливаются прямо на стройплощадке в простые горизонтальные опалубочные формы, с выдержкой их в течение 2-3<sup>x</sup> суток.

## 2.6 Твердение пенобетона и уход за ним

Литому пористому бетону, как и любому другому, связуемому цементом, необходимо создать температурно-влажностный режим. Это служит, с одной стороны, для поддержания процесса гидратации цемента, набора прочности, с другой стороны, снижает температуру экзотермии, препятствует образованию трещин в бетоне.

С этой целью рекомендуется сразу же после укладки смеси накрывать бетонную поверхность полиэтиленовой пленкой.

Не позднее, чем через 8-10 часов после окончания бетонирования, а в жаркую погоду – через 2-3 часа, начинать поливку поверхности пенобетона и продолжать 3-7 суток.

Распалубка конструкций (без применения каких-либо добавок) через 25-30 часов (после набора 25% проектной прочности).

При естественном твердении в нормальных условиях ( $t=20-25^{\circ}\text{C}$ ) пенобетон через 7-10 суток набирает 55-70% марочной прочности.

Отпускная прочность сборных элементов - 70-80% от проектной марки. Монтаж можно начинать по истечении 2-3 недельной выдержки элементов на воздухе со дня их изготовления.

### 3.Рекомендуемый состав пенобетонной смеси (1 м<sup>3</sup>)

Объемная плотность, кг/м <sup>3</sup>	400	500	600	800	1000	1200	1400	1600	1800
Песок, <u>кг</u>	-	<u>110</u>	<u>210</u>	<u>420</u>	<u>590</u>	<u>780</u>	<u>950</u>	<u>1130</u>	<u>1330</u>
Цемент, <u>кг</u>	<u>320</u>	<u>310</u>	<u>320</u>	<u>320</u>	<u>350</u>	<u>360</u>	<u>380</u>	<u>400</u>	<u>420</u>
Вода в растворе, кг/л	<u>140</u>	<u>140</u>	<u>140</u>	<u>156</u>	<u>161</u>	<u>165</u>	<u>178</u>	<u>180</u>	<u>184</u>
	140	140	140	156	161	165	178	180	184
Вода в пене, л	33	30	34	32	28	26	22	22	15
Пеноконцентрат, кг	0,850	0,800	0,900	0,800	0,700	0,650	0,560	0,580	0,400
Пена, л	800	760	715	630	560	460	370	290	200
Водоцементное отношение(без учета воды в пене)	0,47	0,45	0,45	0,49	0,46	0,46	0,47	0,45	0,44
Содержание воздуха, %	80	76	71	63	54	46	37	29	20
<b>Пенобетонная смесь, кг/л</b>	<b><u>493,9</u> <u>1007</u></b>	<b><u>590,8</u> <u>1007</u></b>	<b><u>694,9</u> <u>1005</u></b>	<b><u>928,8</u> <u>1013</u></b>	<b><u>1129,7</u> <u>1012</u></b>	<b><u>1333,7</u> <u>1013</u></b>	<b><u>1530,6</u> <u>1004</u></b>	<b><u>1732,6</u> <u>1009</u></b>	<b><u>1949,4</u> <u>1012</u></b>

Внимание! В сводной таблице приведен расчет на пенообразователь для пенобетона разбавляемый водой 1:40 и весе пены:  
1. Пенобетон плотности Д400-Д500 – 40-60г/л; 2. П/б плотн. Д600-Д1000 – 60-70г/л; 3. П/б плотн. Д1200-Д1800 – 70-80г/л.