

Т.Е. КОБИДЗЕ, канд. техн. наук, В.Ф. КОРОВЯКОВ д-р техн. наук, НИИМосстрой,
А.Ю. КИСЕЛЕВ, канд. техн. наук, ООО «Приват-Деал» (Краснодар),
С.В. ЛИСТОВ, инженер, ООО «Рутгер» (Москва)

Взаимосвязь структуры пены, технологии и свойств получаемого пенобетона

Результаты научно-исследовательских работ, проведенных в МИСИ им. В.В. Куйбышева (ныне МГСУ), привели к переосмыслению существующих представлений о методах стабилизации и минерализации пеноструктур в технологии пенобетона. Этому способствовало выявление возможности использования пен разной кратности, в том числе агрегативно неустойчивых (кратность 2–6), для получения высокоэффективных пенобетонных материалов различного назначения и плотности. Такая возможность появилась благодаря разработке специальных технологических способов стабилизации и качественной минерализации пен разной кратности, направленного регулирования их структурных и вязкопластичных характеристик при минерализации. Эти разработки, предусматривающие принципиально новый подход к технологии пенобетона, характеризуются комплексным решением всех технологических вопросов, среди которых:

- формирование в материале высокой пористости при пониженном В/Т с минимальной дефектностью ячеистой структуры;
- обеспечение технологичности и совмещенности процессов приготовления пеномассы и ее формирования в заводских и построечных условиях;
- возможность выбора рациональной схемы приготовления пенобетона в зависимости от заданных физико-механических свойств

материала, производительности, технико-экономических условий организации производства.

Результаты исследований и анализ технической литературы [1, 2] показали, что характер структурного строения и технологические свойства пены меняются вместе с ростом ее объемной кратности (см. таблицу). При этом формируются условно три основные разновидности пеноструктуры (рис. 1).

Низкократные пены (кратность 2–6) отличаются введением небольшого количества пенообразователя, а также характеризуются сферической формой пор, отсутствием жесткого структурного каркаса и текучестью, обусловленными наличием свободной, не перешедшей в адсорбционные слои, жидкой фазы. Истечение последней (синерезис) определяет нестабильность этих пен после приготовления, поэтому они не находили практического применения. Однако именно наличие свободной жидкой фазы позволило разработать технологический способ стабилизации этих пеноструктур и приготовления на их основе пенобетонных материалов, названный методом сухой минерализации пены [3]. Метод предусматривает минерализацию низкократной пены сухим порошком вяжущего при перемешивании и ее стабилизацию предотвращением синерезиса за счет бронирования воздушных пузырьков, закупорки каналов Плато твердыми частицами и сорбции свободной воды сухим вяжущим.

Внутроструктурная подвижность низкократных пен и наличие свободной жидкой фазы в виде толстых пленок вокруг мелких сферических пор обуславливает устойчивость воздушного пузырька и в целом пены при сухой минерализации в условиях пониженного В/Т $\leq 0,5$, позволяют сократить цикл приготовления смеси до минимума, использовать непрерывные пенобетоносмесители, цементные и быстротвердеющие гипсовые вяжущие, а также применить кратковременную вибрацию на стадии приготовления и формирования пеномассы с целью повышения устойчивости пены при минерализации и снижения В/Т (а. с. № 1392061, № 769233). Кроме того, низкий расход пенообразователей – синтетических ПАВ (0,2–0,4% от массы воды) – минимизирует их замедляющее действие на кинетику набора прочности пенобетона.

Важным фактором является предельная простота аппаратного оформления метода: приготовление пены и ее последующую сухую минерализацию вяжущим можно осуществить в одном высокоскоростном турбулентном смесителе. Он же с незначительным изменением используется для приготовления пеномассы в непрерывном режиме путем постепенного совмещения сухих компонентов с низкократной пеной, непрерывно подаваемой пеногенератором. При необходимости смеситель снабжается пневматической или гидравлической системой перекачивания пенобетонной смеси к месту укладки.

Параметры	Характеристики пены при кратности								
	2	3	4	5	6	8	10	12	14
Плотность, кг/м ³	500	330	250	200	166	125	100	83	71,4
Текучесть, см	37	30	25	25	15	8	0	0	0
Объем воздушной фазы, %	50	67	75	75	83,3	87,5	90	91,6	92,8
Гашение пены при сухой минерализации (В/Т = 0,5), %	9	7	8	9	16	20	38	60	75
Средняя плотность пенобетона при В/Т = 0,5, кг/м ³ :									
– расчетная без учета гашения пены (под чертой кратность пенобетонной смеси)	<u>871,2</u> 1,61	<u>626,6</u> 2,24	<u>495,7</u> 2,83	<u>407,8</u> 3,44	<u>345,3</u> 4,06	<u>266,2</u> 5,27	<u>216,2</u> 6,5	<u>181,3</u> 7,73	<u>157,1</u> 8,93
– с учетом гашения пены	949,6	664,3	535,3	444,5	400,6	319,4	298,3	290	275
– с применением вибрации при минерализации	885	635	508	420	360	305	–	–	–

Минерализация низкократной пены сухим вяжущим приводит к фиксации основных характеристик пеноструктуры (объем вовлеченного воздуха, характер упаковки и форма пор), поэтому в основу направленного регулирования средней плотности, структуры, прочности и других свойств пенобетона сухой минерализации положен подбор кратности пены с учетом частичного ее гашения, структурного строения и степени минерализации (В/Т).

При кратности пены 4 объем вовлеченного воздуха составляет около 75%, что соответствует теоретическому пределу упаковки соприкасающихся сферических пор одинакового размера. Следовательно, структура пены и пенобетонной смеси на ее основе с кратностью менее 4 при любом размере пузырьков образуется из сферических пор, разделенных жидкими прослойками. Возможно формирование как полидисперсной, так и монодисперсной структуры пены путем подбора режима смесителя, пеногенератора, вида и расхода пенообразователя. Следовательно, эти пены являются лучшей основой для получения конструкционно-теплоизоляционных и перегородочных пенобетонных материалов с замкнутой мелкопористой структурой с толстыми перегородками средней плотностью 600–900 кг/м³ при В/Т = 0,5–0,4.

Пены данной кратности имеют наиболее толстые пленки, особенно в зонах между узлами, где их толщина повышается в несколько раз. Этот фактор и отсутствие жесткого пространственного закрепления смежных пор низкократных пен позволяют вести бездефектную минерализацию последних с помощью немолотых песков, используемых совместно с вяжущим в качестве заполнителя, что достигается за счет вытеснения и закрепления зерен песка, а также крупных частиц вяжущего из сравнительно тонкостенных пленок пены в центре междуузлия в процессе перемешивания без «прорезки» стенки пор и деформации пузырька.

Изготовление материалов по данной технологической схеме было реализовано в России, а также в странах Ближнего Востока с использованием немолотого барханного песка [4].

Пены и смеси на их основе с кратностью выше 4 характеризуются полифракционной сферической пористой структурой, возрастающим количеством соприкасающихся пор по мере роста кратности. Теоретическому пределу плотной упаковки такой структуры соответствует пористость около 83% и кратность 6. Пенобетонные материалы сухой минерализации, фиксируя та-

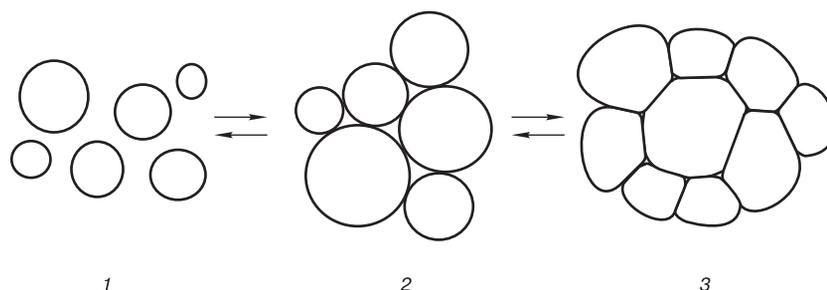


Рис. 1. Модели структурного строения пены в зависимости от кратности. Низкократные пены: 1 – кратность менее 4 пены эмульсионного типа; 2 – кратность 4–6; 3 – кратность выше 6 (пены переходной структуры и высокократные); → структурные изменения пены при повышении кратности в естественных условиях; ← структурные изменения пены при ее обжати

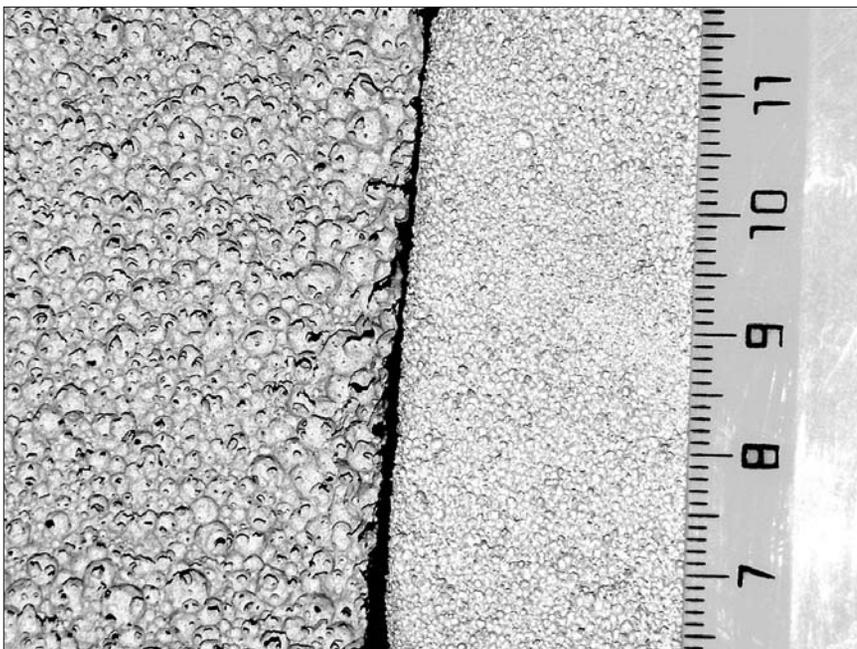


Рис. 2. Ячеистая структура пенобетона: 1 – пенобетон низкой плотности традиционного изготовления при атмосферном давлении; 2 – суперлегкий теплоизоляционный пенобетон плотностью 180 кг/м³, изготовленный методом «обжатие-релаксация»

кую структуру, после отверждения приобретают открытую пористость за счет образования точечных дырок в зоне соприкосновения сферических пузырьков пены. Эти точечные пленки не минерализуются из-за их несоизмеримости по толщине с частицами вяжущего. Минимальный размер точечных дырок почти не влияет на прочностные характеристики материала. Результаты акустических исследований, проведенных в НИИСФ, показали, что наличие открытой полифракционной пористости придает этому виду пенобетона (средняя плотность 300–450 кг/м³) высокие звукопоглощающие свойства в широком диапазоне частот, поэтому он стал основой для разработки технологии пеногипсовых отделочных звукопоглощающих плит со средней плотностью 350–400 кг/м³ и прочностью 0,9 МПа [5]. С целью повышения прочности этих изделий при изгибе и усилении акустических



Рис. 3. Фрагмент цеха по производству легкого пенобетона методом «обжатие-релаксация»

свойств в состав материала введен армирующий фиброкомпонент и добавка водорастворимого полимера для улучшения адгезии волокна к матрице и снижения хрупкости материала.

Пены кратностью 9–14 имеют объем воздушной фазы 89–93% и могут служить идеальной основой для получения особо легких ($150\text{--}250\text{ кг/м}^3$) пенобетонных теплоизоляционных материалов при $V/T = 0,5\text{--}0,6$ на обычном цементном вяжущем (см. таблицу). Однако увеличение воздушной фазы в пенах с кратностью выше 6 приводит к постепенному ухудшению их технологических свойств за счет перестройки структуры в плотную и жесткую упаковку частично деформированных сферических пузырьков со множеством тончайших пленок повышенной площади в зонах соприкосновения пор. Особенно чувствительны эти изменения при кратности выше 9. Пониженная подвижность, ограниченный объем жидкой фазы и наличие тончайших контактных пленок определяют повышенную склонность этих пен к нерегулируемому разрушению при минерализации и неэффективности применения виброминерализации.

Устранение указанных недостатков можно достичь значительным повышением $V/T > 0,7$, но это отрицательно отражается на прочности и качестве материала. Можно также применить сухие минерализующие композиции пониженной смачиваемости и водопотребности, например ВНВ (ЦНВ) или КГВ. Однако получаемый пенобетон низкой плотности в обоих случаях имеет неоднородную ячеистую структуру с множеством увеличенных контактных дырок и, следовательно, низкую прочность и теплопроводность (рис. 2). Попытка совместить эти пены с раствором вяжущего приводит к дальнейшему повышению V/T .

Исходя из вышеизложенного применение высокократных пен (кратностью не менее 15) в условиях метода сухой минерализации нецелесообразно. Они представляют собой пространственную ячеисто-пленочную структуру, состоящую из пор-многогранников, связанных между собой в общий каркас разделительными тонкими пленками. В отличие от низкократных пен в них практически отсутствует свободная жидкая фаза. Они имеют жесткое строение и проявляют стабильность после приготовления за счет отсутствия синергизиса в определенном промежутке времени.

Использование пен с такими структурно-технологическими характеристиками для поризации строительных материалов возмож-

но при совмещении с водным раствором вяжущего. Эта схема и лежит в основе традиционной технологии пенобетона. При этом регулирование средней плотности пенобетона достигается не изменением кратности пены, а подбором соотношения объемов пены заданной кратности (обычно кратностью 15–20) и раствора вяжущего.

В результате данная схема базирется не на фиксации структуры минерализуемой высокократной пены, а на ее трансформации в пеноструктуру с заранее заданной низкой кратностью, например при получении легкого пенобетона конечная кратность пеномассы должна соответствовать 8–12 при коэффициенте трансформации 1,25–2,5.

Процесс трансформации происходит при перемешивании компонентов путем разделения пеноструктуры и новой пространственной переориентации пузырьков в условиях физико-механических воздействий на тонкопленочную структуру пены раствором вяжущего, крупными частицами песка (применяется при плотности пенобетона более 500 кг/м^3), рабочими органами мешалки. Эти факторы приводят к разрушению значительного объема пены, а при получении низкоплотных пенобетонов — к образованию неоднородной открытой ячеистой пористости. Увеличение коэффициента использования пены в данной технологии достигается нерациональными приемами — повышением V/T , применением специальных добавок — стабилизаторов и загустителей пены, а также низкоскоростного режима перемешивания в горизонтальных мешалках циклического действия.

Таким образом, проведенные исследования показали, что технологические методы пенной поризации строительных материалов, основанные на совмещении пены с вяжущим в виде сухого порошка или строительного раствора в условиях атмосферного давления, не обеспечивают получения пенобетона низкой плотности (менее 500 кг/м^3) с замкнутой ячеистой пористостью и пониженным V/T и практически непригодны для получения качественного особо легкого пенобетона с плотностью менее 300 кг/м^3 . Преодоление указанных недостатков удалось путем модификации технологических способов приготовления пенобетонной смеси на базе нового технологического метода, названного «обжатие-релаксация» [6].

Оригинальность метода заключается в том, что впервые в мировой практике технологии пенобетона предложен прием, согласно которому процесс приготовления пенобетонной смеси, включающий два этапа

(поризацию и гомогенизацию), производится при избыточном давлении, то есть в обжатом состоянии пены и пенобетонной смеси. Затем происходит релаксация пенобетонной смеси до исходного объема за счет плавного снятия обжимающего усилия и выравнивания давления внутри смеси до атмосферного. Подробное описание метода приведено в статье [7].

Пенная поризация строительных материалов в обжатом состоянии по сухой или традиционной схеме благодаря искусственному снижению кратности минерализуемой пеноструктуры (до кратности 6–4 и ниже) позволяет за короткий цикл приготовить гомогенную равномерно минерализованную пенобетонную смесь при сравнительно низких V/T и высоком коэффициенте использования пены, а после восстановления объема пеноструктуры — получить высокопоризованный тонкодисперсный пенобетон низкой плотности с заданной объемной кратностью (более 6–8), замкнутой однородной ячеистой структурой, высокими теплофизическими и прочностными характеристиками для данной плотности материала (рис. 2).

Реализация метода «обжатие-релаксация» в циклическом режиме осуществляется с применением смесителей-пневмоагнетателей, а в непрерывном режиме — использованием малогабаритных поризаторов гидронагнетательного типа [8]. Эти агрегаты совмещают приготовление пенобетонных масс в обжатом состоянии (этап «обжатия») и их последующую перекачку к месту укладки по гибкому шлангу. В процессе перекачки и формования происходит постепенное расжатие пеномассы до заданной кратности (этап «релаксации»).

Разработки последних лет позволили:

- освоить производство базового комплекта оборудования, работающего в непрерывном режиме по совмещенной схеме с использованием запатентованного поризатора гидронагнетательного типа [9];
- наладить производство эффективных материалов — мелкоштучных стеновых блоков средней плотностью 450 кг/м^3 по резательной технологии и монолитной теплоизоляции с плотностью $200\text{--}350\text{ кг/м}^3$;
- организовать опытное производство и реализацию особо легких теплоизоляционных пенобетонных плит плотностью $180\text{--}250\text{ кг/м}^3$ (рис. 3).

Низкая себестоимость, высокие физико-механические и эксплуатационные свойства (теплопроводность $0,056\text{--}0,059\text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$); прочность при

сжатию до 0,4 МПа) обеспечивают этому виду утеплителя конкурентоспособность по сравнению с другими теплоизоляционными материалами (минераловатными плитами, пенополистиролбетоном, пористыми полимерами и др.) при возведении многослойных ограждающих конструкций, утеплении стен, чердачных и подвальных перекрытий, крыш и др.

Список литературы

1. Тихомиров В.К. Пены. Теория и практика их получения и разрушения. М.: Химия. 1983.
2. Меркин А.П., Кобидзе Т.Е. Особенности структуры и основы технологии получения эффективных пенобетонных матери-

лов // Строит. материалы. 1988. № 3. С. 16–18.

3. А.с. №925043. Способ приготовления пены пеномассы. Меркин А.П., Румянцев Б.М., Кобидзе Т.Е. 1982.
4. Меркин А.П. Ячеистые бетоны: научные и практические предпосылки дальнейшего развития // Строит. материалы. 1995. № 2. С. 11–15.
5. Меркин А.П., Румянцев Б.М., Кобидзе Т.Е. Поризация гипсовых вяжущих в технологии отделочных материалов // Строит. материалы и конструкции. Киев. 1985. № 1. С. 5–6.
6. А.с. №1524428. Способ изготовления теплоизоляционных изде-

лий. Меркин А.П., Кобидзе Т.Е., Зудяев Е.А. 1989.

7. Кобидзе Т.Е., Коровяков В.Ф., Самборский С.А. Получение низкоплотного пенобетона для производства изделий и монолитного бетонирования // Строит. материалы. 2004. № 10. С. 56–58.
8. Меркин А.П., Кобидзе Т.Е., Зудяев Е.А. В стационарном и мобильном вариантах (о технологии и оборудовании для производства монолитного пенобетона) // Механизация строительства. 1990. № 10. С. 7–9.
9. Патент РФ № 2077421. Устройство для аэрации строительного раствора. Киселев А.Ю., Трифонов Ю.П., Кушу Э.Х., Токарев В.И. 1997.

Техника для тех, кто хочет строить быстрее и лучше!



Волковысский завод
кровельных и строительно-
отделочных машин

- Оборудование для производства пенобетона
- Штукатурные агрегаты

- Оборудование для малярных работ
- Оборудование для кровельных работ

Волковысский завод КСОМ
231900 Беларусь, г. Волковыск,
ул. С. Панковой, 6
Телефон: (10-375-1512) 2-69-18

Представительство в Москве: ООО «Рутгер»
121351, Москва, ул. Молодогвардейская, 57
Тел.: (095) 417-24-24 Факс: (095) 417-14-35
e-mail: ksom@fmail.ru www.ksom.narod.ru

2-4 МАРТА 2005 г.

ВОРОНЕЖ

20-я юбилейная
межрегиональная
выставка

СТРОИТЕЛЬСТВО

КРУПНЕЙШАЯ В ЦЕНТРАЛЬНО-ЧЕРНОЗЕМНОМ РЕГИОНЕ



Стройка!

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ
ИНФОРМАЦИОННЫЙ
СПОНСОР

Организаторы выставки:
Выставочное объединение
"ЭкспоСити"
Выставочный Центр
"ВЕТА"

ВЕТА
ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР

Тел./факс:
(0732) 51-20-12, 77-48-36
E-mail: stroy@veta.ru
www.veta.ru

ОРГАНИЗАТОР:
ВЕТОС
ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР EXPO

ОТРАСЛЕВАЯ
ВЫСТАВКА
ЮГА РОССИИ

**Дор
Тех
Строй**

2-4
марта

ДОРОЖНАЯ И СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА,
МАШИНЫ, ОБОРУДОВАНИЕ, МАТЕРИАЛЫ И
ТЕХНОЛОГИИ. СПЕЦТЕХНИКА.
ОБУСТРОЙСТВО И БЕЗОПАСНОСТЬ
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ.

Ростов-на-Дону
М. Нагибина, 30
павильон 2
(863) 292-40-55
292-41-25
292-42-10

e-mail: doretstroy@centrex.ru