

УЧЕТ ОСОБЕННОСТЕЙ НАНОСТРУКТУРЫ СЫРЬЯ В ТЕХНОЛОГИИ ПЕНОБЕТОНОВ

**© 2007 г. В.Н. Моргун, П.В. Смирнова, М.О. Бадман
Ростовский государственный строительный университет**

В пенобетонных смесях интенсивность и скорость межчастичных взаимодействий, проявляющихся в период после завершения перемешивания сырьевых компонентов, регулирует особенности их перехода из вязко-пластичного в упругое состояние. Чем быстрее в таких смесях вязкие связи заменяются упругими, тем выше качество получаемых бетонов.

Известно [1], что бетонные смеси, не содержащие поверхностно активных веществ (далее ПАВ), становятся агрегативно неустойчивыми дисперсными системами при средней толщине водных пленок примерно $1 \cdot 10^{-7}$ м. В пенобетонных смесях, где основная часть ПАВ находится на границах раздела «газ – жидкость», средняя толщина водных пленок в 5...15 раз больше [2]. Сохранение агрегативной устойчивости дисперсной системы при столь существенной разнице в водосодержании оказывается возможным только потому, что молекулы ПАВ в процессе перемешивания, обеспечивающего их перемещение на границу раздела «газ-жидкость», связывают значительное количество межчастичной воды в составе жидких кристаллов пенных пленок [3].

Равновесие между компонентами пенобетонных смесей после завершения перемешивания нарушается довольно быстро [3], поскольку химическая и адсорбционная диспергация цемента способствует переводу межчастичной объемной воды в физически связанное состояние, обеспечивая, таким образом, понижение упругости пенных пленок [4]. Понижение упругости пенных пленок не опасно до тех пор, пока ПАВ не достигнута критическая концентрация мицеллообразования (далее ККМ), приводящая к коалесценции, то есть разрыву жидких кристаллов и объединению мелких пор в крупные. Скачкообразная перестройка структуры бетонных смесей в период преобладания вязких связей между компонентами приводит к накоплению дефектов в структуре межпоровых перегородок и отрицательно влияет на механические свойства затвердевшего материала. Поэтому так важно сохранение агрегативной устойчивости пенобетонных смесей в период их перехода из вязкого состояния в упругое.

Сохранение агрегативной устойчивости смесей возможно до тех пор, пока силы связи между дисперсными частицами выше напряжений растяжения, возникающих в межпоровых перегородках под действием выталкивающей силы, развиваемой газовыми включениями. Следовательно, рецептура качественных пенобетонных смесей должна обеспечивать такую скорость набора прочности, при которой будет исключена возможность утраты ими газовой фазы и расслоения.

Анализ причин утраты агрегативной устойчивости дисперсными системами показывает, что скорость их расслоения (V) [5] прямо пропорциональна квадрату радиуса частиц дисперсной фазы (r) и разности плотностей частицы (ρ_f) и среды (ρ_s), обратно пропорциональна вязкости среды (η):

$$V = \frac{2 \cdot r^2 \cdot (\rho_f - \rho_s)}{9 \cdot \eta} \quad (1)$$

Уравнение (1) отражает влияние наносвойств компонентов смесей на процесс расслоения в том случае, когда дисперсная система характеризуется постоянством параметров дисперсионной среды и имеет один вид дисперсной фазы. Пенобетонные смеси – это суспензии композиционного типа, в которых содержится несколько видов дисперсных фаз, а дисперсионная среда имеет, в свою очередь, так же композиционный состав. Плотность дисперсных частиц твердой фазы – больше плотности дисперсионной среды, а плотность дисперсных частиц газовой фазы – меньше. Масштаб различий плотности фаз превышает 10^2 . Оба вида дисперсных фаз способны изменять меру своей дисперсности в период, когда агрегативная устойчивость смеси определяется только величиной вязких сил сцепления между компонентами, которые по интенсивности взаимодействия относятся к слабым.

Способность дисперсных систем в период проявления слабых взаимодействий между частицами дисперсных фаз формировать фракталы (масштабные множества) и кластеры и, тем самым, способствовать уменьшению суммарной межфазной энергии дисперсной системы, свидетельствует об их потенциале в области самоорганизации при наличии термодинамического неравновесия.

Анализ наносвойств дисперсных частиц, составляющих пенобетонные смеси, применительно к наиболее вероятному направлению формирования их структуры в результате перемешивания компонентов (способа образования,

формы и размеров кластеров), показывает, что эти частицы обладают следующими свойствами:

- некоторым энергетическим потенциалом поверхностной энергии (материалы в перечне расположены в порядке убывания энергии на единицу массы: зерна цемента, волокна фибры, зерна заполнителя);
- их геометрические размеры (как минимум 2 размера из 3-х) таковы, что на этапе начального структурообразования влиянием сил тяжести на траекторию их движения в объеме смеси можно пренебречь;
- фибра в 1000 и более раз длиннее самой крупной частицы цемента, поэтому в рассматриваемой дисперсной системе её следует позиционировать, как протяженную поверхность раздела фаз;
- размеры частиц заполнителя находятся внутри диапазона размеров фибры и вяжущего;
- гибкость фибры такова, что под действием капиллярных сил, развивающихся при увлажнении компонентов пенобетонной смеси, она может принимать любую конфигурацию [3].

При смешивании компонентов дисперсная система, состоящая из воды, ПАВ, цемента, заполнителя и фибры, подвергается деформационному воздействию со стороны смесительного агрегата. При деформации сдвига или сжатия с одновременным сдвигом перемещение частиц дисперсной фазы сопровождается ориентацией той их части, у которой хотя бы одно пространственное измерение отличается от двух других, в направлении действия максимальных направлений сдвига [6]. Вследствие ориентации плоских и волокнистых частиц дисперсная система (на уровне межпоровой перегородки) приобретет анизотропную структуру, характеризующуюся волновым порядком упаковки твердых частиц в направлении их минимального размера. Волновой характер распространения механического воздействия в обводнённой дисперсно-зернистой системе формирует порядок чередования слоёв (рис. 1). Чем полнее прошел процесс релаксации, тем определеннее выражены эти слои. При формировании структур строительных материалов в процессе перемешивания именно мельчайшие частицы цемента первыми перемещаются к протяженным поверхностям раздела фаз. Поэтому траектории движения компонентов твердой фазы при агрегации в кластеры всегда будут направлены к поверхности фибры, а по-

рядок упаковки – определяться геометрическими размерами зернистых частиц и конфигурацией дисперсной арматуры.

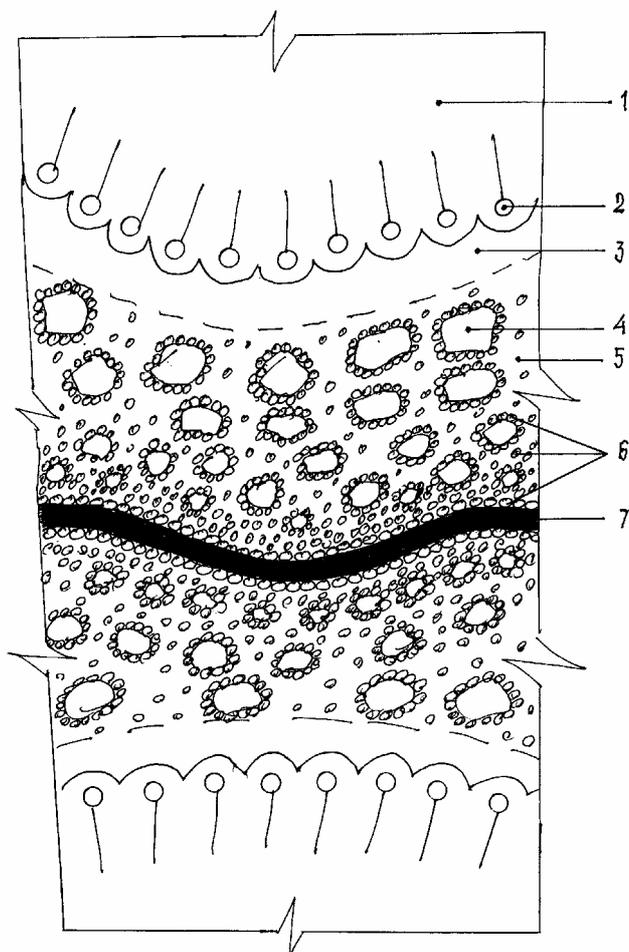


Рис. 1. Схема фрагмента межпоровой перегородки в фибропенобетоне

1 – газовая дисперсная фаза; 2 – молекулы ПАВ в составе жидкого кристалла на границе раздела «газ-жидкость»; 3 – вода в составе жидкого кристалла; 4 – частицы заполнителя; 5 – отдельные молекулы ПАВ; 6 – зерна цемента; 7 – фибра.

Интенсивность межчастичного взаимодействия [7] регулируется не только величиной поверхностной энергии, которой обладают частицы, но и их формой:

$$F = -\frac{A}{r} \left(\frac{1}{m} - \frac{1}{H^n} \right), \quad (2)$$

где F – сила притяжения между частицами;

H – расстояние между частицами;

A – константа, характеризующая суммарное действие ориентационного и дисперсионного факторов;

m, n – коэффициенты (при взаимодействии шарообразных частиц $m=12, n=2$; шарообразной и протяженной $m=6, n=2$).

Из уравнения (2) следует, что силы сцепления между частицами, размеры которых постоянны во всех направлениях трехмерного пространства ниже, чем силы сцепления между шарообразной и вытяженной частицами. Таким образом, из анализа свойств и возможных перемещений дисперсных частиц, составляющих пенобетонную смесь, следует, что наиболее вероятным направлением формирования структуры межпоровых перегородок в рассматриваемом типе смеси [8] будет сборка кластерных агрегатов по типу 5 (табл. 1). Наличие в пенобетонной смеси вытяженных поверхностей раздела фаз должно привести к ускорению процесса сборки кластеров и повышению их прочности. По мере роста связности дисперсной системы за счёт дисперсного армирования, носителями важнейших свойств пенобетонной смеси, станут не зерна вяжущего с сольватными оболочками воды, а крупные агрегаты, состоящие из фибры и, закрепившихся на её поверхности, обводненных частиц вяжущего и заполнителя. Появление таких агрегатов свидетельствует о формировании кластерных структур и указывает на возможность управления агрегативной устойчивостью системы с помощью дисперсного армирования.

Таблица 1

**Параметры фрактальных размерностей кластеров (D),
образующихся при агрегации дисперсных частиц [8]**

№	Схема движения частиц при агрегации	Размерность пространства по Мандельброту (d)	
		2 (плоскость)	3 (объем)
1	Прямолинейная траектория, кластер – частица	2	3
2	Броуновское движение, кластер - частица	1,68+0,02	2,46+0,05
3	Прямолинейная траектория, кластер – кластер	1,54+0,03	1,94+0,08
4	Броуновское движение, кластер - кластер	1,44+0,04	1,77+0,03
5	Кластер – кластер, малая вероятность прилипания (RLCA - модель)	1,55+0,03	2,02+0,06
		1,60+0,01*	2,11+0,02*

Примечание: * – для полидисперсных систем.

Экспериментальную проверку изложенных выше рассуждений о влиянии дисперсного армирования на интенсивность межчастичных взаимодействий, возникающих после завершения перемешивания компонентов в пенобетонных смесях, осуществляли по величине пластической прочности. Анализировалась скорость роста пластической прочности равноплотных смесей, в зависимости от содержания в них дисперсной арматуры. На рис. 2 представлены результаты измерений в течение 7 часов, после завершения перемешивания.

Полученные данные подтверждают достоверность приведенных выше рассуждений и послужили основой для разработки энергосберегающей технологии производства ячеистых бетонов в ЗАО «ФИПЕБ», которое в течение ряда лет осуществляет выпуск высококачественных изделий следующей номенклатуры:

- теплоизоляционные, стеновые и перегородочные блоки;
- галтели;
- перемычки;
- карнизные изделия.

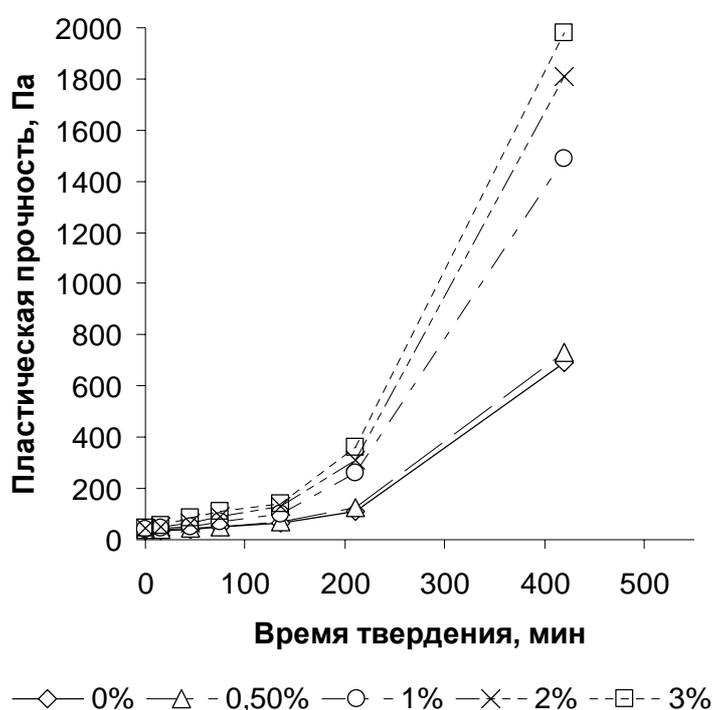


Рис. 2. График зависимости пластической прочности пенобетонных смесей от содержания дисперсной арматуры и времени твердения

Продукция, выпускаемая ЗАО «ФИПЕБ», нашла применение при строительстве:

- многоэтажных жилых домов каркасного типа;
- коттеджей высотой до 3-х этажей;
- хлебозавода и цеха розлива масла АПГ «Юг Руси»;
- офисного центра «Купеческий двор»;
- выставочного комплекса «Роствертол» и др.

Литература

1. *Блещик Н.П.* Структурно-механические свойства и реология бетонной смеси и прессвакуумбетона. Минск, "Наука и техника", 1977. – 231 с.
2. Управление процессами технологии, структурой и свойствами бетонов / Под ред. Е.М.Чернышева, Е.И. Шмитько: Воронеж ГАСУ, 2002. – 344 с.
3. *Моргун Л.В., Моргун В.Н.* О жидкокристаллической природе агрегативной устойчивости пенобетонных смесей // Строительные материалы, 2006, №6. – С. 22–23.
4. *Русанов А.И.* Мицеллообразование в растворах поверхностно-активных веществ.- СПб: "Химия", 1992. – 280 с.
5. *Фридрихсберг Д.А.* Курс коллоидной химии: Уч-к для ВУЗов. - 3-е изд. исправл. – СПб: "Химия", 1995. – 400 с.
6. *Ахматов А.С.* Молекулярная физика граничного трения. Москва, 1963. – 380 с.
7. *Смирнов Б.М.* Физика фрактальных кластеров. М: Наука, 1991. – 136 с.