**8. Влияние формы компонентов на интенсивность межчастичных взаимодействий в пенобетонных смесях.**

Скорость межчастичных взаимодействий, обеспечи­вающих переход пенобетонных смесей из вязкопластичного в упругое состояние, предопределяет их агрегативную устойчивость и качество затвердевшего бетона. Агрегативно устойчивыми принято считать такие сме­си, которые вплоть до затвердевания сохраняют в своем объеме вовлеченную при перемешивании компонентов газовую фазу. Вода в таких смесях в период начального структурообразования обеспечивает глобальную связ­ность между всеми компонентами дисперсной системы. Причем распределяется в объеме весьма неравномерно.

Причиной неравномерного распределения воды в пенобетонных смесях являются высокие адсорбцион­ные свойства ПАВ, проявляемые ими в результате во­влечения в дисперсную систему частиц газовой фазы. Цементосодержащие дисперсные системы, содержа­щие незначительное количество вовлеченной газовой фазы (до 10% по объему), становятся агрегативно не­устойчивыми при средней толщине водных пленок при­мерно 110~7м [1]. По данным В.Т. Перцева, средняя тол­щина водных пленок в пенобетонных смесях в 5—15 раз больше [2].

Сохранение агрегативной устойчивости дисперсной системы при столь существенной разнице в водосодержании возможно только потому, что крупные молекулы ПАВ в ходе перемешивания переводят значительное ко­личество межчастичной воды из объема смеси в состав жидкого кристалла пенной пленки [3]. В результате это­го процесса значительная часть свободной влаги пере­мещается из объема дисперсной системы на границу раздела газ—жидкость. Таким образом, толщина водных пленок на поверхности частиц твердой фазы существенно уменьшается, и дисперсная система оказывается способ­ной сохранять агрегативную устойчивость.

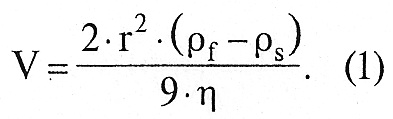
В технологии изготовления пенобетонных смесей перемещения ПАВ и межчастичной воды на границу раздела газ-жидкость происходят до тех пор, пока к компонентам смеси поступает энергия перемешивания. После укладки смесей в форму под действием гравита­ционных сил какая-то часть слабосвязанной воды может выдавливаться из ореола жидкого кристалла и перемещаться в направлении минимальной плотности дисперсной системы.

Поэтому со временем нарушается подвижное рав­новесие между количеством ПАВ в составе пенных пленок и в межчастичной жидкости, установившееся в результате перемешивания. Параллельно с этим процессом имеет место адсорбционная и химическая диспергация зернистых частиц цемента, способству­ющая общему, повышению дисперсности системы и соответственному увеличению ее внутренней энер­гии. В результате повышения дисперсности какое-то количество межчастичной воды переходит в разряд пленочной, и таким образом также замедляется про­цесс раздвижки частиц твердой фазы в слоях уложен­ной смеси. Но в нижних слоях, там, где слабосвязан­ная вода была выдавлена гравитационными силами,

повышается концентрация ПАВ, ведущая к пониже­нию упругих свойств жидкой фазы [4] и ослаблению вязких связей между компонентами.

Повышение концентрации ПАВ в нижних слоях пе­нобетонных смесей практически неопасно до тех пор, пока не достигнута критическая концентрация мицеллобразования (далее ККМ), вызывающая коалесценцию, т. е. разрыв структуры жидких кристаллов и объ­единение мелких пор в крупные. Скачкообразная пере­стройка структуры материала в период преобладания вязких связей между компонентами всегда отрицатель­но влияет на механические свойства затвердевшего ма­териала. Поэтому так важно сохранение всей вовлечен­ной при перемешивании газовой фазы внутри бетонной смеси. Удержание газовой фазы 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 высококачественных пенобетонных смесей должна обеспечивать такую скорость набора прочнос­ти, при которой будет исключена возможность утраты ими газовой фазы и расслоения.

Анализ причин утраты агрегативной устойчивости дисперсных систем показывает, что скорость их рассло­ения (V) [5] прямо пропорциональна квадрату радиуса частиц дисперсной фазы (г) и разности плотностей час­тицы (ρf) и среды (ρs), обратно пропорциональна вязко­сти среды (η):



Уравнение (1) формально отражает влияние физиче­ских и геометрических свойств компонентов смесей на процесс расслоения в том случае, когда дисперсная си­стема характеризуется постоянством свойств дисперси­онной среды и имеет один вид дисперсной фазы. Пено- бетонные же смеси — это суспензии композиционного типа, в которых содержится несколько видов дисперс­ных фаз. В них дисперсионная среда имеет композици­онный состав, т. е. раствор ПАВ переменной концент­рации. Плотность дисперсных частиц твердой фазы больше плотности дисперсионной среды, а плотность дисперсных частиц газовой фазы меньше. Масштаб различий плотности фаз превышает 102. Оба вида дис­персных фаз способны изменять свои геометрические размеры в период, когда агрегативная устойчивость смеси предопределяется только величиной вязких сил сцепления между компонентами.

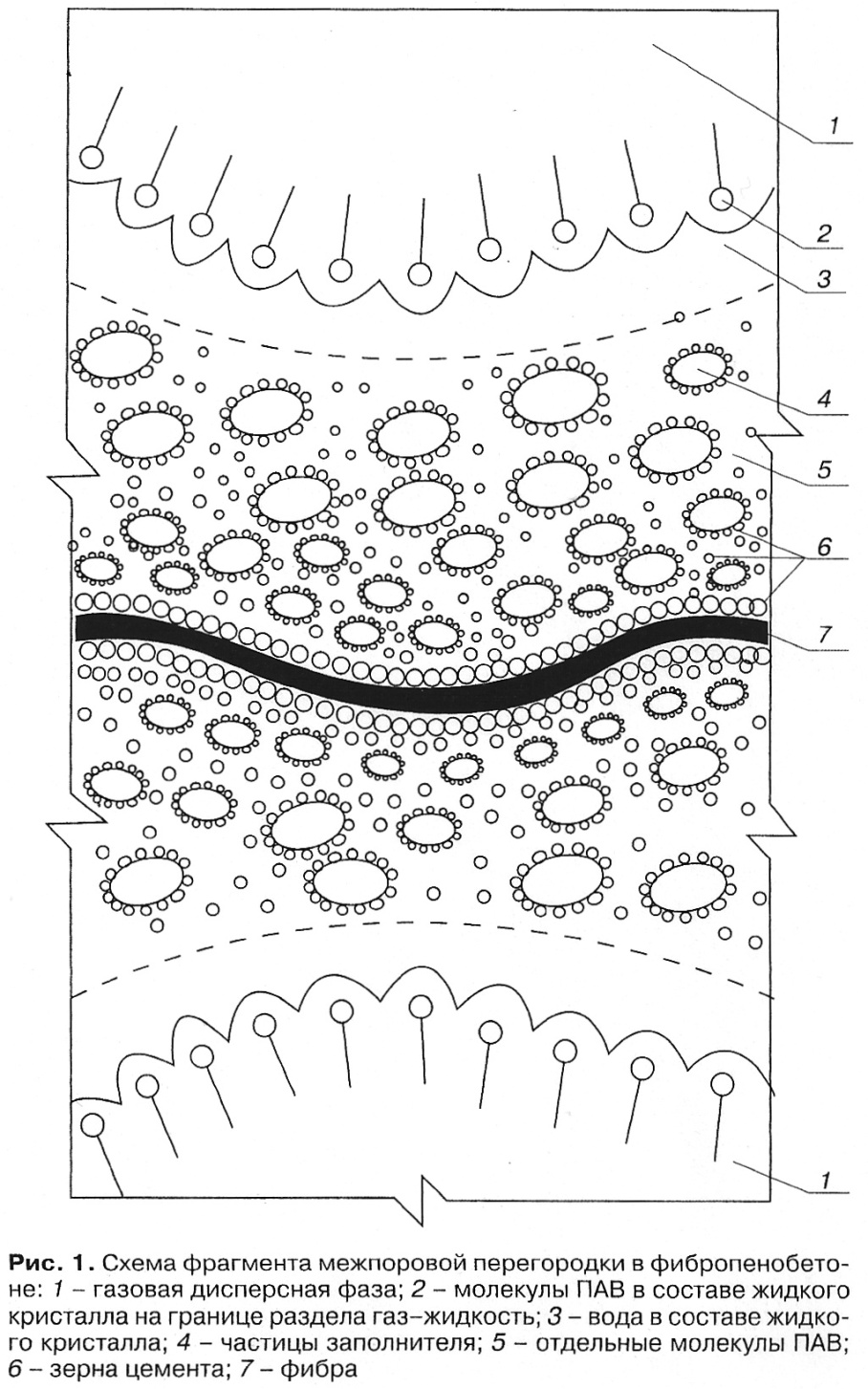
Все твердые составляющие пенобетонных смесей обладают поверхностной энергией. Наличие свободной энергии на поверхности частиц твердой фазы является предпосылкой не только для целенаправленного фор­мирования межфазных границ, но и для управления свойствами материала в целом. Способность дисперс­ных систем 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 о мере их потенциала в области самоорганизации и воз­можности сохранения агрегативной устойчивости при наличии термодинамического неравновесия.

Анализ свойств дисперсных частиц, составляющих пенобетонную смесь, 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:

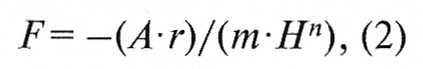
* некоторым энергетическим потенциалом поверхност­ной энергии (материалы в перечне расположены в по­рядке убывания энергии на единицу массы: зерна цемента, волокна фибры, зерна заполнителя);
* их геометрические размеры (как минимум два раз­мера из трех) таковы, что на этапе начального структурообразования 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 ее 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, 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. В дисперсных систе­мах энергия деформации накапливается в вице поверх­ностной энергии [6]. В ходе процессов перемешивания релаксация поверхностной энергии физически выража­ется в перемещении жидкой и газообразной фаз к обла­стям наибольших напряжений.

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 обводненной дисперсно-зернистой системе формирует порядок чередования слоев (рис. 1). Чем полнее прошел процесс релаксации, тем определеннее выражены эти слои.



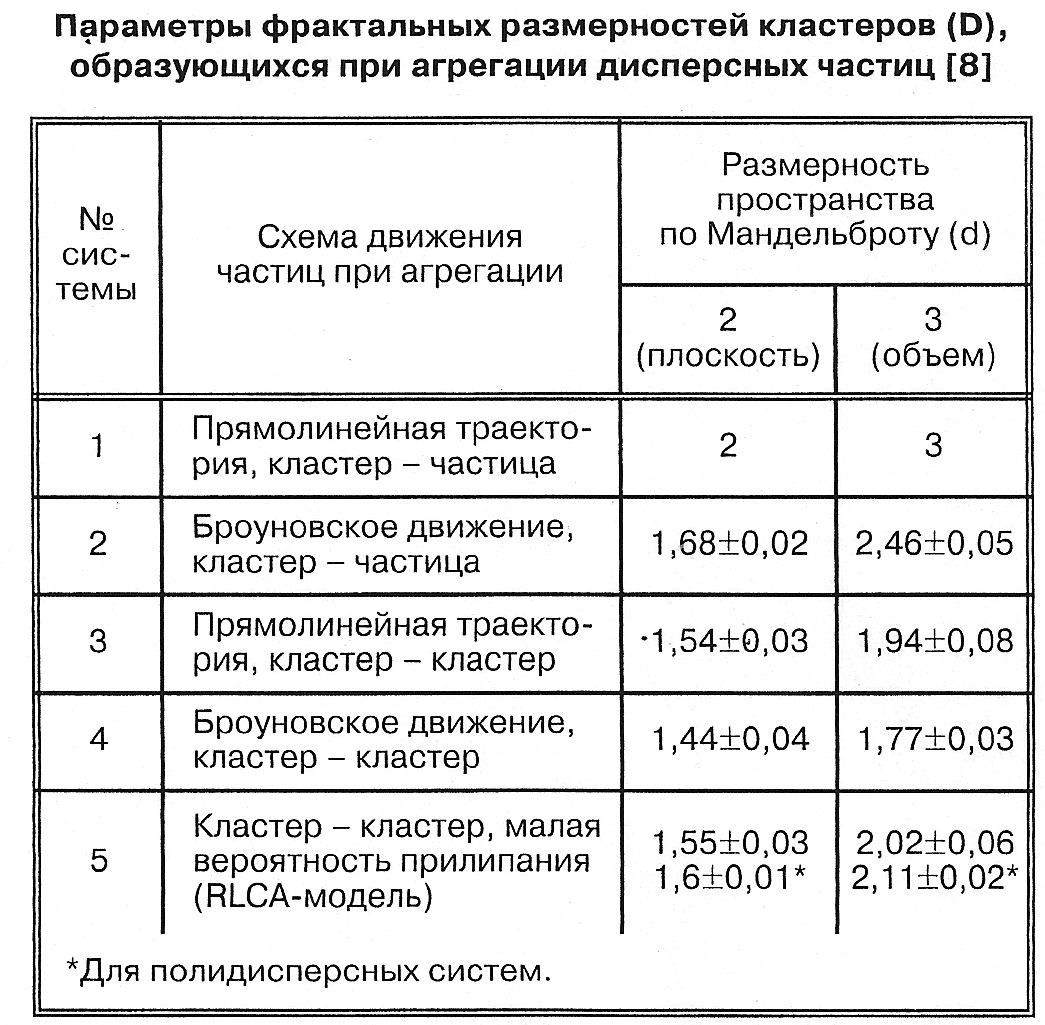
Интенсивность межчастичных взаимодействий [7] регулируется не только величиной поверхностной энергии, которой обладают частицы, но и их формой:



где F — сила притяжения между частицами; Н — рас­стояние между частицами; А — 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 протяженной части­цами. На этапе раннего структурообразования это осо­бенно важно, так как абсолютная величина этих сил сравнительно мала.

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 4 и 5 (см. таблицу).



Опираясь на данные, приведенные в таблице для си­стем 4 и 5, можно утверждать, что значения фракталь­ных размерностей при формировании вязко связанных структур в пено- и фибропенобетонных смесях будут существенно различаться за счет разной скорости агре­гации частиц в кластеры. Это изменение должно выра­зиться прежде всего в параметрах кинетики пластичес­кой прочности.

По мере роста связности дисперсной системы за счет дисперсного армирования носителями важнейших свойств пенобетонной смеси становятся не зерна вяжу­щего с сольватными оболочками воды, а крупные агре­гаты, состоящие из фибры и закрепившихся на ее по­верхности обводненных частиц вяжущего и заполните­ля. Появление таких агрегатов свидетельствует о фор­мировании кластерных структур в составе пенобетон­ной смеси и о высоком уровне самоорганизации частиц твердой дисперсной фазы. Быстрое появление класте­ров указывает на возможность управления агрегатив­ной устойчивостью системы с помощью дисперсного армирования.

Экспериментальную проверку изложенных выше теоретических 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 ч после завершения перемешивания.



Полученные экспериментальные данные подтвер­ждают достоверность приведенных выше теоретических положений и показывают, что скорость замены вязких контактов упругопластическими в пенобетонных смесях регулируется при прочих равных условиях количеством дисперсной арматуры. Следовательно, ее ввод в состав обводненных зернистых дисперсных систем способствует повышению уровня их самоорганизации и положительно влияет на интенсивность межчастичных взаимодействий, что в конечном итоге должно приводить к повышению качества затвердевших материалов.