

УДК 691.327.33

**ВОЗДУХОВОВЛЕЧЕНИЕ В ПЕНОБЕТОННЫЕ СМЕСИ****В.Н. Моргун**

Показано влияние фибрового армирования и температуры воды затворения на процессы воздухововлечения в высокообводненные цементосодержащие дисперсные системы.

*Ключевые слова:* пено- и фибропенобетон; поверхностно активные вещества (ПАВ).

**ON THE AIR ENTRAINMENT IN THE FOAM CONCRETE MIX****V.N. Morgun**

From the analysis of the influence of fiber reinforcement and temperature of mixing water on the processes of air entrainment in cement dispersed high water-cut system.

*Keywords:* foam and fiber foam concrete; surface-active substances (surfactants).

Теплопотери ограждающих конструкций большинства зданий, эксплуатируемых в России, достигают 60 % энергии, подводимой к ним [1]. Основной причиной высокого энергопотребления является низкая энергоэффективность большинства видов строительных материалов, традиционно применяемых в качестве стеновых (кирпич, керамзитобетон, многослойные стены) [2]. Конструкции многослойных стен в климатических условиях северо-востока Европы не всегда способны обеспечивать стабильные параметры сопротивления теплопередаче в течение длительного периода эксплуатации объектов, а уровень развития технологий газонаполненных бетонов неавтоклавного твердения не позволяет стабильно получать материалы и изделия с заданными свойствами. Достижение заданных свойств газонаполненными бетонами является весьма сложной технологической задачей.

Научно обоснованные требования к качеству и рецептуре сырья, могут быть сформулированы только после установления особенностей структурообразования пенобетонных смесей в период от момента их затворения водой до отвердевания. В строительном комплексе пенобетонные в настоящее время получают из двух видов смесей:

- классических, состоящих из порландцементного вяжущего минерального заполнителя, пенообразователя и воды;
- дисперсно армированных волокнами (фибропенобетонных), состоящих из того же сырья, дополнительно содержащие фибру (не менее 0,5 % от объема твердых компонентов).

Поскольку фибропенобетонные смеси обладают по сравнению с классическими лучшими параметрами агрегативной и седиментационной устойчивости, то рассмотрение особенностей формирования структуры пеносмесей в процессе воздухововлечения будем рассматривать на них.

Фибропенобетонные (газонаполненные) смеси получают в результате интенсивного перемешивания высокообводненных цементно-песчаных суспензий с поверхностно-активными веществами (ПАВ). В период раннего структурообразования (в течение 3–10 часов после укладки в формы), пено- и фибропенобетонные смеси обладают всеми свойствами многофазных микрогетерогенных систем [3]. Состав их дисперсной фазы представлен частицами цемента, песка, фибры и воздушными включениями, обернутыми в водные пленки. Качество структуры таких систем зависит от интенсивности межфазных и межчастичных взаимодействий, величина которых предопределяется капиллярно-пленочными явлениями, проявляющимися в период начального структурообразования [4].

Способность ПАВ вовлекать воздух в объем смеси в период перемешивания сырьевых компонентов связана с переходом ПАВ на границу раздела фаз «газ – жидкость», т. е. с адсорбцией. Для того чтобы смесь оказалась способной удерживать захваченный воздух, ПАВ физически связывают некоторое количество воды в пенные пленки, образуя при этом жидкие кристаллы [5]. Поэтому высокообводненные дисперсные системы, к которым относятся все виды пенобетонных смесей, по мере

насыщения газовой фазой повышают свою агрегатную устойчивость [5], и она становится достаточной для того, чтобы в результате отвердевания цемента были сформированы прочные гидратные новообразования. Необходимо понимать, что любые ПАВ являются крупными молекулами, в десятки и сотни раз превышающими размеры молекул воды. Кроме того, известно [3], что ПАВ полностью никогда не переходят на границу раздела фаз «газ-жидкость».

Между количеством ПАВ, остающихся в межзерновой жидкости и на границе раздела «газ-жидкость», существует подвижное соответствие, примерно равное 1:100, которое связано с растворимостью ПАВ. Остающиеся в межчастичной воде ПАВ расположены в воде хаотично или образуют мицеллы, которые не позволяют частицам твердой фазы формировать бездефектные межпоровые перегородки.

Мицеллы, располагающиеся в жидкой фазе между частицами твердой, формируют включения, которые после затвердевания пенобетона становятся зародышами микротрещин в структуре межпоровых перегородок. Поэтому чем меньшее количество ПАВ в ходе приготовления пенобетонных смесей остается в объеме их твердой фазы, тем меньшей будет её микропустотность. Обретенная структура обеспечит возможность повышения прочности затвердевшего бетона ячеистой структуры.

Известно, что между адсорбцией и растворимостью существует обратно пропорциональная зависимость, то есть, чем меньше растворимость ПАВ, тем лучше их адсорбционные свойства по отношению к газовой фазе. Это весьма важно в технологии пенобетонов, поскольку от адсорбционных свойств ПАВ зависит объем воздуха, вовлекаемого в смесь из цементно-песчаного раствора. Растворимость ПАВ понижается при понижении температуры растворителя [6]. Молекулы ПАВ в растворителе ориентируются так, чтобы их внутренняя энергия была минимальной [4]. При повышении температуры растворителя тепловое движение молекул способно нарушать ориентацию молекул, удерживающих газовую фазу внутри цементно-песчаной суспензии.

Если ориентация молекул ПАВ по отношению к твердой и газовой фазам пенобетонных смесей изменяется, то их растворимость увеличивается. Отмеченный факт отражает давно известную качественную зависимость, которая была отражена в СН-277 в виде ограничения содержания трехкальциевого алюмината в клинкере цемента, предназначенного для изготовления пенобетонных смесей. С одной стороны, чем раньше в минеральном вяжущем, предназначенном для изготовления пенобетона, возникнут термодинамические условия

для фазового перехода из вязкого состояния в упругое, тем лучше. В то же время, за сроки схватывания в твердеющих цементосодержащих дисперсиях несет ответственность именно алюминатная фаза клинкера. С другой стороны, именно алюминатная фаза в первые часы гидратного взаимодействия обеспечивает тепловыделение рассматриваемой дисперсной системы и поэтому управляет агрегативной устойчивостью дисперсных компонентов пенобетонных смесей.

Из практики известно, что в процессе турбулентного перемешивания ПАВ с сырьевыми компонентами пенобетонной смеси, возможно достижение равновесия между концентрацией ПАВ в дисперсионной среде и пленках на границе раздела фаз «газ-жидкость». В результате обретения такого равновесия пено- и фибропенобетонные смеси становятся агрегативно устойчивыми, что позволяет изготавливать из них однородные по структуре и прочные энергоэффективные изделия. Однако удержать равновесие, достигнутое в процессе перемешивания, часто не представляется возможным, потому что в любой пенобетонной смеси в этот период начального структурообразования протекают активные массообменные процессы, в результате которых растет концентрация ПАВ в объеме жидкой фазы.

По мнению Б.В. Дерягина и Л.Д. Ландау, устойчивость водных пленок ПАВ зависит от величины потенциальной энергии межмолекулярного взаимодействия в пленке и деформации диффузных электрических слоев. Массообменные процессы, особенно интенсивно протекающие в пенобетонных смесях в период начального структурообразования, не только изменяют водосодержание, но и повышают температуру компонентов, составляющих пенобетонные смеси. Перечисленные явления негативно влияют на устойчивость пленок ПАВ и их способность удерживать газовую фазу внутри цементно-песчаных обводненных дисперсий.

Выявление закономерностей утраты устойчивости пленок ПАВ, находящихся в составе фибропенобетонных смесей, представляет собой важную технологическую проблему. Потому что только сохранение газовой фазы внутри них обеспечивает получение высокопрочных пенобетонов. Это возможно, если пленки в течение достаточного времени обладают свойством упругости. Под упругостью пленок понимают их способность увеличивать натяжение при растяжении.

Упругость пленок падает по мере отвердевания пенобетонных смесей потому, что вода затворения химически связывается клинкерными минералами цемента и возникают рецептурные условия для повышения концентрации ПАВ в жидкой фазе. Поэтому так важно обеспечивать максимально

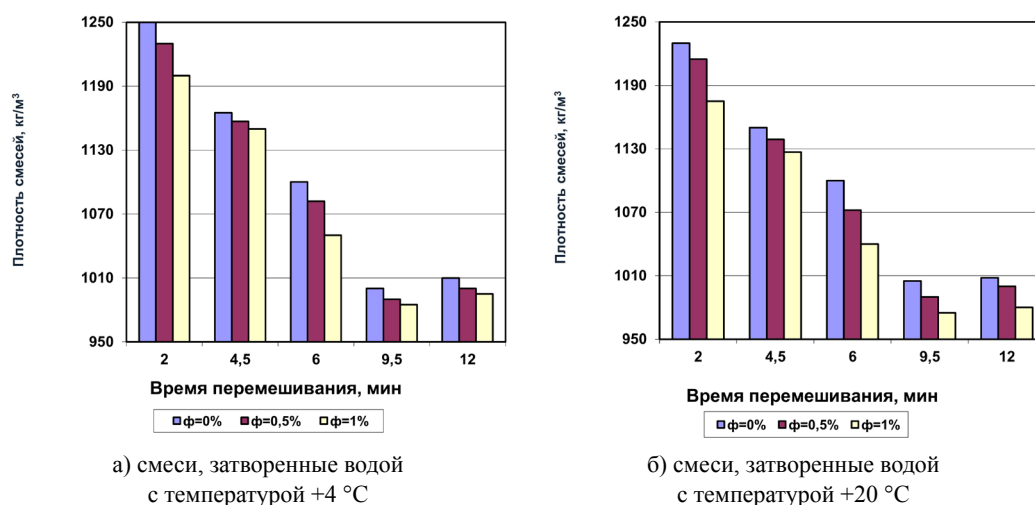


Рисунок 1 – Влияние продолжительности перемешивания на среднюю плотность фибро- и пенобетонных смесей

возможный переход ПАВ на границу раздела фаз «газ-жидкость» в период перемешивания сырьевых компонентов. Для этого требуется время. Учитывая тот факт, что температура влияет на растворимость ПАВ в воде, нами исследовалось влияние продолжительности перемешивания на параметры структуры пено- и фибропенобетонных смесей.

В ходе экспериментов варьировались температура воды затворения и продолжительность перемешивания пено- и фибропенобетонных смесей, содержащих разное количество дисперсной арматуры. Полученные результаты показывают, что по мере увеличения продолжительности перемешивания до 9,5 мин наблюдается падение средней плотности смесей.

Установлено, что на параметры плотности также положительно влияет насыщение дисперсной арматурой. По мере роста количества фибры плотность смесей снижалась. Достигнутый результат свидетельствует об улучшении газодерживающих свойства фибропенобетонных смесей по сравнению с пенобетонными. Причиной улучшения газодерживающих свойств фибропенобетонных смесей по сравнению с пенобетонными следует считать ускоренное образование кластеров [7] при наличии в обводненной дисперсной системе частиц зернистой и волокнистой формы (рисунок 1).

Таким образом оптимальная продолжительность перемешивания пенобетонных смесей должна составлять 8–9 минут, вне зависимости от температуры воды затворения, для того чтобы гарантировано обеспечивать максимально возможный переход ПАВ на границу раздела фаз «газ-жидкость». Достижение этого результата иллюстрируется параметрами минимальной плотности полученных

смесей. Недостаточное перемешивание или перемешивание сверх оптимального времени ведет к росту плотности фибро- и пенобетонных смесей и, как следствие, возможному ухудшению механических свойств затвердевших бетонов в связи с повышением количества ПАВ, не переместившихся на внутреннюю поверхность газовых пор.

#### Литература

1. Хихлуха Л.В. Реализация Национального проекта «Доступное и комфортное жилье гражданам России» требует всесторонней научной и экономической проработки / Л.В. Хихлуха // Строительные материалы. 2006. № 4. С. 4–8.
2. Орлов Д.В. Надежные, экологичные и доступные дома по новой технологии / Д.В. Орлов // Строительный вестник Дона. 2010. № 4 (33). С. 2.
3. Управление процессами технологии, структурой и свойствами бетонов / под ред. Е.М. Чернышева, Е.И. Шмитько. Воронеж: ГАСУ, 2002. С. 78–124.
4. Веденов А.А. Физика растворов / А.А. Веденов. М.: Наука. Гл. ред. физико-матем. лит-ры, 1984. 112 с.
5. Моргун Л.В. О жидкокристаллической природе агрегативной устойчивости пенобетонных смесей / Л.В. Моргун, В.Н. Моргун // Строительные материалы. 2006. № 6. С. 22–23.
6. Русанов А.И. Мицеллообразование в растворах поверхностно-активных веществ / А.И. Русанов. СПб.: Химия, 1992. 280 с.
7. Гергеа А.Н. Управление свойствами композиционных материалов. Перколяционный подход / А.Н. Гергеа, В.Н. Выровой // Вестник ОГАСА. 2005. Вып. № 20. С. 56–61.