

2 Инструкция по проектированию и эксплуатации полигонов для твердых бытовых отходов АКХ им. К.Д. Памфилова – М., 1996.

3 Экологические требования к проектированию, сооружению и эксплуатации полигонов захоронения (депонирования) твердых бытовых отходов в пределах Пермской области. – Пермь, 1995

4 Пособие по проектированию полигонов захоронения токсичных промотходов (к СНиП 2 01 28-85).

5 СН 2 1 7 722-98. Гигиенические требования к устройству и содержанию полигонов для твердых бытовых отходов

УДК 691.33

ФОРМИРОВАНИЕ ПОРИСТОЙ СТРУКТУРЫ В ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ПЕНОБЕТОНАХ

Сидоренко Ю.В., Коренькова С.Ф.

Введение. В последние годы научно-исследовательскими организациями Республики Беларусь и Российской Федерации разработан ряд прогрессивных, экологически безопасных стеновых и теплоизоляционных материалов и изделий, которые отличаются малой энергоемкостью, низкими затратами на создание производства и позволяющие получить строительную продукцию с высокими функциональными свойствами. Среди подобных материалов мелкочтучные стеновые блоки и теплоизоляционные плиты составляют основу современного строительства, а из всех видов материалов к числу экономически недорогостоящих, перспективных и востребованных относятся, в частности, неавтоклавные теплоизоляционные пенобетоны, отличающиеся эксплуатационной совместимостью с большинством конструкционных материалов, экологической и пожарной безопасностью, долговечностью, относительно простой технологией производства и распространенностью применяемого (чаще всего – местного) сырья. Региональное производство данного вида строительной продукции, например, в Самарской области еще находится в начале пути, однако неавтоклавный теплоизоляционный пенобетон уже завоевал себе прочные позиции на отечественном строительном рынке и, безусловно, относится к материалам приоритетных строительных технологий XXI века. Применение теплоизоляционного пенобетона сейчас связано с реализацией строительства жилья малой и средней этажности, жилых домов индивидуальной планировки для нескольких семей в городской среде и сельской местности.

В современных научных разработках специалистов еще остаются открытыми вопросы, затрагивающие теоретическое обоснование механизма потери устойчивости пенобетонных смесей с учетом гидродинамических факторов. Исследование этих факторов является одной из первоочередных задач в области теоретических аспектов структурообразования пен и пенобетонов. Их решение будет способствовать созданию и развитию эффективных технологий производства пенобетона с улучшенными строительно-техническими характеристиками; позволит расширить область применения пенобетонов, создать предпосылки для развития нового направления – наполненных пенобетонов. Таким образом, разработка предложений для решения проблемы стабилизации “легкой” пенобетонной смеси, мероприятий по совершенствованию технологии

производства изделий из неавтоклавногo теплоизоляционного пенобетона приобретают в настоящее время востребованность и актуальность.

В целом перечисленные проблемы определили объект, предмет, цель данного исследования.

Объект исследования – пенобетонная смесь на цементном вяжущем.

Предмет исследования – механизм потери устойчивости “легкой” пенобетонной смеси и влияние различных факторов на этот процесс.

Цель работы: разработка основ формирования капиллярно-пористой системы в процессе смешения компонентов “легкой” пенобетонной смеси; анализ методов, улучшающих устойчивость и структуру “легких” пенобетонных смесей.

Пенобетоны, изготовленные по литьевой технологии, имеют в своем составе слабосвязанную воду, и процесс ее перераспределения начинается после укладки пенобетонной смеси в форму. Вода скапливается в нижней части воздушных включений, увеличивая обводненность тех частиц твердой фазы, которые находятся в прилегающей межпоровой перегородке. В момент, когда концентрация слабосвязанной воды достигает некой критической величины, образуется бесконечный кластер по водной составляющей (см. рис. 1), вода под действием сил гравитации устремляется на поддон, пленки становятся тоньше, лопаются, и происходит расслоение: газовая фаза устремляется вверх, твердые частицы вниз, на поддон формы, что в конечном итоге приводит к расслоению и осадке пенобетонной смеси [1, 2].

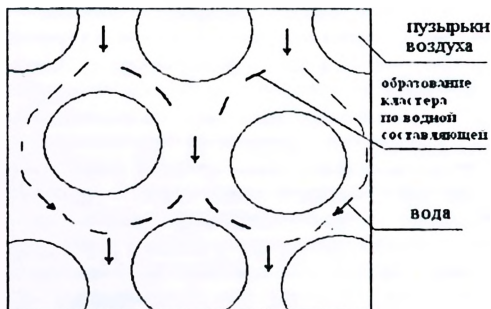


Рисунок 1 – Схема истечения пленочной воды по каналу Гиббса – Плато

Качественно время жизни пены зависит от скорости утонения, устойчивости тонких пленок по отношению к испарению и механическим сотрясениям, включая колебания, передаваемые через массу пены при разрыве перегородок между ячейками и резком сдвиге стенок соседних ячеек.

Существенное влияние на усадку отформованной смеси также оказывает водотвердое отношение В/Т. При его снижении практически весь объем жидкой фазы сравнительно равномерно заполняется твердыми частичками, и отсутствуют объемы жидкой фазы без присутствия твердой. Напротив, при увеличении водотвердого отношения упаковка твердых частичек в объеме жидкой фазы уже не в состоянии “забронировать” весь свободный объем межпленочной жидкости. В результате уменьшается устойчивость воздушных пузырьков и происходит осадка смеси.

Также важен процесс смешения компонентов пенобетонной смеси [59, 68, 74]. С точки зрения гидродинамики, интересен кавитационный принцип вовлечения воздушных прослоек. Процесс кавитации в смесителе возможен при высоких скоростях перемешивания смеси лопастями мешалки. При прохождении потока жидкости около перемешивающей лопасти, в соответствии с уравнением Бернулли:

$$p_0 + \frac{1}{2} \rho v_0^2 = p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 = const,$$

где p – давление, ρ – плотность, v – скорость, увеличение скорости приводит к уменьшению гидростатического давления и, в конечном итоге, к нарушению сплошности, образованию каверны, которая схлопывается в виде газового пузыря. Очевидно, что размер образующихся пузырей также зависит от окружной скорости, вязкости обтекающей неньютоновской среды, от запаса газа, растворенного в жидкости.

Таким образом, к числу гидродинамических факторов, оказывающих влияние на газовую фазу пенобетонов, следует отнести:

- скоростной режим перемешивания,
- окружную скорость на конце лопасти мешалки и процесс кавитации,
- вязкость неньютоновской среды и др.

Среди поверхностных факторов, действующих на процессы структурообразования пенобетонов, необходимо отметить:

- В/Т отношение,
- поверхностное натяжение,
- кратность пены и ее сопротивление механическому воздействию,
- электрокинетический потенциал и др.

Процессы в твердо-газо-жидкостных системах (пенобетонах) существенно отличаются от твердо-жидкостных: взаимодействием твердой и газовой фаз, приводящим как к дроблению газовой фазы, так и к ее минерализации и упрочнению; стесненностью фаз; влиянием поверхностных факторов; существенным влиянием гидродинамических полей на формирование структуры пористого композита и т.д.

Проведенный анализ работ показал, что не существует четких подходов и принципов формирования моделей для разных технологических переделов, учитывающих структуру потоков смешивающихся фаз и межфазный обмен импульсами. Имеющиеся методы моделирования пока применимы только для частных случаев двухфазных систем.

Формирование структуры пенобетонной смеси. Процесс формирования структуры пенобетонной смеси является нестационарным и связан с явлениями перераспределения фаз, их агрегацией, дроблением, межфазным взаимодействием. Отдельные фазы имеют сильно развитую поверхность. Поступление воздуха в процессе смешивания компонентов чаще всего осуществляется за счет барбатажа пенобетонной смеси перемешивающим устройством (лопастной мешалкой) и вдуванием пенной струи в смеситель. В первом случае вовлечение воздуха происходит за счет вихрей, образующихся в процессе перемешивания. В результате падения давления к центру вихря и замыкания его на свободных поверхностях происходит подсос воздушной массы и вовлечение ее в толщу среды. Вторым фактором при этом служат кавитационные процессы, происходящие на лопастях при больших угловых скоростях движения мешалки. Во втором случае, то есть при пневматической подаче воздушной струи под воздействием сильных градиентов полей скоростей фаз происходит дробление воздушных объемов на более мелкие объемы.

В индукционном периоде подготовки пенобетонной смеси смесь представляет собой 3-фазную газобенную систему взаимодействующих континуумов: жидкого, твердого и газообразного [1–3]. Особенностью такой структуры являются нелинейность процесса, существенная неоднородность полей концен-

траций и скоростей фаз, сложность динамики многофазной среды и их взаимодействий. В технологии легких пенобетонов предложено немало методов стабилизации структуры – применение пластификаторов, введение армирующих элементов, предварительная гидратация цемента, но наиболее эффективным и простым способом является применение микронаполнителей и уменьшение дисперсности твердой фазы, что ведет к повышению упруго-вязких свойств межпоровой перегородки.

Потерю устойчивости легкого пенобетона можно рассматривать на микроуровне и макроуровне. Решение второй задачи позволило бы, на наш взгляд, определить количественную теоретическую скорость расслоения пенобетонной смеси и выявить влияние на нее различных факторов.

Наш анализ влияния гидродинамических факторов на процесс устойчивости смеси (в индукционном периоде) указывает на малое количество работ в данной области. Так, например, Шаховой Л.Д. и др. исследователями предлагается решать эту задачу в рамках 3-х фазной системы, но лишь по условию равновесия поры в пеноцементной смеси.

Трудность моделирования 3-фазных систем связана с оценкой межфазных взаимодействий по границам фаз. Учитывая это, мы предлагаем рассматривать 2-фазную модель, состоящую из смеси (жидкой и твердой фазы) и газотвердой фазы (пузырьковой минерализованной фазы). Действительно, при формировании структуры легкого пенобетона газовая фаза является тем каркасом, на котором концентрируется твердая фаза (явление бронирования). Твердая фаза, кроме того, удерживается в области газовой поры связанной водой. Так образуется комбинированный кластер из газовой поры (пузыря), твердых частиц и связанной воды. Подобные кластеры и образуют пористую систему, по каналам Плато которой истекает свободная вода.

Равновесный диаметр газотвердого кластера (рис. 2) [4] определяется равенством давлений:

$$P_w = P_L + P_T + P_n,$$

где P_w – избыточное давление воздуха внутри пузырька радиусом r с поверхностным натяжением σ ; P_L – капиллярное давление пенной пленки; P_T – давление, обусловленное упруговязкими свойствами цементной составляющей, находящейся в межпоровом пространстве; P_n – давление вязкого деформирования, действующего по всей поверхности поры.

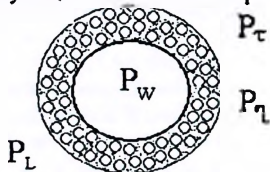


Рисунок 2 – Схема комбинированного кластера

Присоединение твердых частиц к кластеру будет определяться балансом Ван-дер-Ваальсовой, электростатической, расклинивающей составляющими межчастичного взаимодействия, кинетической энергией присоединенной частицы.

Предложенная схема позволяет применить традиционный подход к разрушению пены – движение фронтов по жидкой и газовой фазам – и сформировать математическую модель процесса для изотермических условий [2, 3]. Для формируемой модели будем считать справедливыми требования изотермичности, монодисперсности фаз и т.д.

Уравнения сохранения массы [2]:

$$\frac{\partial \rho_1}{\partial \tau} + \operatorname{div}(\rho_1 V_1) = -I_{12}^I + I_{21}^I - I_{11}^{II} + I_{11}^{II*}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho_2}{\partial \tau} + \operatorname{div}(\rho_2 V_2) = I_{12}^I - I_{21}^I - I_{21}^{II} + I_{21}^{II*}. \quad (2)$$

Уравнение изменения импульса несущей фазы [2]:

$$\rho_1 \alpha_1 \frac{dV_1}{dt} = \operatorname{div} \sigma_1 - F_{21} + \rho_1 g + (V_2 - V_1) \cdot \sum I_{12}^{II*}. \quad (3)$$

Уравнение изменения импульса для дисперсной фазы [2]:

$$\rho_2 \alpha_2 \frac{dV_2}{dt} = \operatorname{div} \sigma_2 - F_{12} + \rho_2 g + (V_1 - V_2) \cdot \sum I_{21}^{II*}. \quad (4)$$

Для упрощения пренебрегаем в математической модели эффектами физико-химической природы (электрокинетические явления, адсорбция ПАВ, смачиваемость поверхностей и т.п.). Система уравнений (1–4) после упрощений примет вид [2]:

$$\frac{\partial}{\partial z} (\alpha_1 V_{1z}) = I_{12}^{II*}, \quad (5)$$

$$\frac{\partial}{\partial z} (\alpha_2 V_{2z}) = -I_{12}^{II*}, \quad (6)$$

$$0 = \frac{\partial \sigma_1}{\partial z} - f_{12}(V_{1z} - V_{2z}) + \rho_1 g + I_{21}^{II*}(V_{1z} - V_{2z}), \quad (7)$$

$$0 = \frac{\partial \sigma_2}{\partial z} + f_{12}(V_{1z} - V_{2z}) + \rho_2 g - I_{12}^{II*}(V_{1z} - V_{2z}), \quad (8)$$

$$f_{12} - f_{21}.$$

Последние слагаемые в уравнениях (7) и (8) являются приращениями импульсов фаз за счет перехода связанной воды из фазы 2 в вязкую жидкость фазы 1. Для завершения формирования вышеприведенной модели необходимо добавить граничные условия, основываясь на данных [2, 3]:

- для верхней границы – скорость поступления свободной жидкости к верхней границе равна нулю, то есть $V_{1z} = 0$;
- на нижней границе раздела жидкости и пенной структуры концентрация дисперсной фазы минимальна, то есть $\alpha_2 \rightarrow \min$.

Заключение. Дальнейшие уточнения и реализация предложенной модели позволят определить некоторые технологические данные, влияющие на качество пенобетонной продукции.

Список цитированных источников

- 1 Красный, И.М. О механизме повышения прочности бетона при введении микронаполнителей / И.М. Красный // Бетон и железобетон. – 1987. – № 5 – С. 10–11.
- 2 Сидоренко, Ю.В. О подходах к задаче математического моделирования процессов структурообразования пенобетонов / Ю.В. Сидоренко // Моделирование. Теория, методы и средства материалы 5-й Международной научно-практической конференции. – Новочеркасск: Изд-во ЮРГТУ (НПИ), 2005. – Ч. 1. – С. 33–39.
- 3 Сидоренко, Ю.В. Теоретические основы регулирования процессов структурообразования неавтоклавных теплоизоляционных пенобетонов / Ю.В. Сидоренко, С.Ф. Коренькова // Строительный вестник Российской инженерной академии: труды секции “Строительство” Российской инженерной академии – Вып. 8 – М., 2007 – С. 48–49.
- 4 Шахова, Л.Д. Исследования влияния пористой структуры пенобетона на его теплопроводность / Л.Д. Шахова, Е.С. Черноситова, И.Б. Хрулев // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. Научно-теоретический журнал. – 2003 – № 5: Материалы Международного конгресса «Современные технологии в промышленности строительных материалов и стройиндустрии», посвященного 150-летию В.Г. Шухова. – Ч. 1. – С. 195–198.