

Сулейманова Л.А., д-р техн. наук, проф.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ФОРМИРОВАНИЯ ПОРИСТОЙ СТРУКТУРЫ ЯЧЕЙСТЫХ БЕТОНОВ

ludmilasuleimanova@yandex.ru

Установлена взаимосвязь между давлением газовой фазы в формовочной массе с ее реологическими и гравитационными свойствами, диаметром пор, давлением внешней среды и поверхностным натяжением раствора. Уточнено уравнение Рэлея-Плессета, что позволило обосновать оптимальные режимы получения качественной высокопоризованной структуры с управлением внешним давлением газовой фазы, обеспечивающие возможность поризовать высоковязкие композиции и получать неавтоклавный газобетон с улучшенными свойствами.

Ключевые слова: формирование пористой структуры, ячеистый бетон, внешнее давление.

Разработаны технологические приемы, позволяющие управлять процессом формирования пористой структуры и значительно (в 1,5...2) снизить среднюю плотность ячеистых бетонов. Учет фактора внешнего давления позволяет поризовать высоковязкие композиции с введением значительно меньшего количества газообразователя, а также формировать пористую структуру композиций воздухом, вовлеченным и адсорбированным минеральным наполнителем композиционного вяжущего.

Уточнено уравнение Рэлея-Плессета:

$$P_{\Gamma} + P_{\Pi} = P_a + P_{cm} + \rho_{cm} \left(R \ddot{R} + \frac{3}{2} \dot{R}^2 \right) + \frac{2\sigma}{R} + \frac{4\eta \dot{R}}{R} + P_{изб} \quad (1),$$

что позволило обосновать оптимальные режимы получения качественной высокопоризованной структуры с управлением внешним давлением газовой фазы, обеспечивающие возможность поризовать высоковязкие композиции и получать неавтоклавный газобетон с улучшенными свойствами.

В соответствии с уточненным уравнением Рэлея-Плессета (1), определяющим фактором при формировании ячеистой структуры газобетона является давление над поризуемой смесью, причем эффект поризации достигается за счет снижения внешнего давления до уровня вакуума, соответствующего 0,06...0,095 МПа. Газобетоны традиционно получают с использованием газообразователя, причем повышенного его количества. Однако пористую структуру можно получить не только за счет выделения газа, но и, как следует из уточненного уравнения Рэлея-Плессета (1), за счет фактора внешнего давления.

Установлена взаимосвязь между давлением газовой фазы в формовочной массе с ее реологическими и гравитационными свойствами, диаметром пор, давлением внешней

среды и поверхностным натяжением раствора при различных внешних воздействиях на формовочную смесь [1–4].

Усилие, противодействующее вспучиванию, равно

$$\frac{\pi d^2}{4} h \rho_c g + \frac{\pi d^2}{4} P_a + \pi d \sigma + \pi dh \left(\tau_0 + \eta \frac{dv}{dx} \right), \quad (2)$$

где P_{Γ} – давление газа в поре, Па; P_{Π} – давление пара над формовочной смесью, Па; P_a – давление среды над формовочной смесью, Па; d – диаметр поры, м; h – расстояние поры от поверхности, м; ρ_c – средняя плотность формовочной массы до вспучивания, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; τ_0 – предельное напряжение сдвига, Па; η –

коэффициент пластической вязкости, Па·с; $\frac{dv}{dx}$ – градиент изменения скорости деформации на единицу расстояния, с⁻¹; σ – поверхностное натяжение, Н/м.

Получено условие вспучивания формовочной смеси:

– при отсутствии вибровоздействия

$$P_{\Pi} + P_{\Gamma} - P_a = h \rho_c g + \frac{4\sigma}{d} + 4 \frac{h}{d} \left(\tau_0 + \eta \frac{dv}{dx} \right) \quad (3)$$

– при наличии интенсивного вибровоздействия, когда $\tau_0 = 0$

$$P_{\Pi} + P_{\Gamma} - P_a = h \rho_c g + 4 \frac{\sigma}{d} + 4 \frac{h}{d} \eta \frac{dv}{dx}. \quad (4)$$

Приведенные уравнения справедливы для системы «газовая пора + формовочная масса». Вспучивание – это динамичный процесс, а потому все параметры уравнения (3) изменяются во времени в процессе поризации.

Уравнение позволяет дать качественную оценку процесса вспучивания. Это можно сделать при условии, если рассматривать

систему в строго определенный момент времени « t_x », и что на этот момент все параметры, входящие в уравнение, будут постоянными, кроме давления газа в поре и ее диаметра. Далее, при вышеприведенных условиях, чтобы рассчитать давление в газовой поре, необходимо знать все значения параметров, входящих в это выражение на момент времени " t_x ", которые нужно определять экспериментально для каждой смеси, что представляет определенные трудности. Представляется возможным оценить величину давления в газовых порах при вспучивании конкретной газобетонной смеси. Например, для расчета можно использовать следующие экспериментальные значения параметров, входящих в выражение (1): принимаем $P_{II} = 0$; $\tau_0 = 26$ Па; $\eta = 0,94 \cdot 10^4$ Па·С;

$$h = 0,1 \text{ и } 0,3 \text{ м; } \frac{dv}{dx} = 0,00185 \text{ с}^{-1}; \rho_c = 1600 \text{ кг/м}^3; \\ \sigma = 0,07 \text{ Н/м; } g = 9,8 \text{ м/с}^2; d = 0,001 \text{ м.}$$

При принятых данных расчеты по уравнению (3) показывают, что абсолютное давление газа в поре диаметром 0,001 м на глубине 0,1 м при вспучивании смеси с указанными выше параметрами должно быть равно 0,119 (0,109) МПа, а на глубине 0,3 м – 0,145 (0,126) МПа. В скобках приведены значения давления газа для смесей, подвергнутых виброобработке.

Из выражения (3) следует, что до момента начала вспучивания массы (при $\frac{dv}{dx} = 0$) давление газа внутри ее должно достигнуть некоторого равновесного значения $P_{кр}$, необходимого для преодоления давления под смесь, ее силы тяжести и предельного напряжения сдвига, если вспучивание происходит без воздействия вибрации. При наличии достаточной вибрации $\tau_0 = 0$. Только после превышения давления газа внутри массы критической величины начнется ее вспучивание. Но по мере вспучивания смеси давление газа будет снижаться, и как только оно достигнет $P_{кр}$, вспучивание прекратится. Таким образом, в конце вспучивания смеси давление газа внутри ее превышает атмосферное.

Одним из способов вспучивания вязких композиций является снижение давления ($P_{изб}$) воздуха над смесью или вспучивание смеси в вакууме. Уменьшение давления над смесью обеспечивает расширение газовой поры с компенсацией сил тяжести и инерции, Лапласа и вязкости в соответствии с уточненным уравнением Рэля-Плессета (1). Это реализовано в разработанной вакуумной технологии

формирования пористой структуры ячеистого бетона [4–7].

Определяющая роль давления над поризуемой смесью при формировании ячеистой структуры газобетона достигается за счет его снижения до уровня вакуума, соответствующего 0,06...0,095 МПа.

При вспучивании вязких смесей с низким водовязким отношением наряду с вакуумом возможны динамические воздействия на смесь, снижающие значимость сил вязкости.

Совместное воздействие вакуума и вибрации реализовано в разработанной вибровакуумной технологии формирования пористой структуры ячеистого бетона [1–4, 8].

При отсутствии внешнего динамического воздействия на ячеистобетонную смесь оптимальные для ее вспучивания характеристики достигаются при сравнительно высоком водосодержании ($В/Т = 0,55...0,7$) при атмосферном давлении над смесью.

Повышенное водосодержание ухудшает выходные параметры газобетона, а уменьшение водовязкого отношения при прочих равных условиях ухудшает вспучиваемость массы, так как увеличиваются средняя плотность и пластическая вязкость массы. Для того чтобы уменьшить водосодержание, предложено снижать давление над формовочной смесью и вспучивание смеси производить при одновременном воздействии на нее вакуума и вибрации.

Выполнены сравнительные испытания литьевой, вакуумной, вибрационной и вибровакуумной технологий. Смесь без газообразователя перемешивалась в течение 2 мин, затем с газообразователем 1 мин, после чего укладывалась в подогретую форму и вспучивалась. Продолжительность вспучивания при изготовлении ячеистого бетона по литьевой технологии – 20...30 мин. Режимы обработки смеси при изготовлении другими способами: при вакуумном – величину вакуума варьировали от 0,04 до 0,08 МПа, длительность вакуумирования – 5 мин; при вибрационном – частота колебаний составляла 50 с⁻¹, амплитуда – 0,3...0,4 мм, продолжительность вибрирования – 2...3 мин; при вибровакуумном – величина вакуума варьировалась от 0,04 до 0,08 МПа, длительность вибровакуумирования – 2 мин, последующая выдержка в вакууме без вибрации – 5 мин.

Высоковязкая формовочная смесь приготавливалась следующим образом: сначала перемешивали композиционное вяжущее (портландцемент), воду и добавку, а затем в массу вводился наполнитель и порообразователь

при необходимости. Форма, заполненная смесью примерно на 60 %, помещалась в вакуумкамеру, закрепленную на вибростоле. Камера герметично закрывалась. После кратковременного вибрирования смеси в течение 10...15 с момента приобретения ею вязкопластичного состояния при нулевом вакууме в вакуумкамере постепенно создавалось требуемое разряжение с помощью вакуумнасоса.

Формовочная смесь подвергалась одновременному воздействию вибрации и вакуума в течение времени, пока вакуум не достигал заданного максимального значения. Затем вибрация прекращалась, а образцы выдерживались при заданном максимальном вакууме 5...7 мин с целью фиксации полученной структуры композита.

На основе полученных данных строилась зависимость величины пористости массы от водовяжущего отношения (В/В) и по ней определялось оптимальное В/В,

обеспечивающее наибольшую пористость массы. Результаты испытаний представлены на рис. 1, из которого видно, что зависимость величины пористости массы от В/В имеет экстремальный характер. Наибольшая пористость массы в каждом конкретном случае достигается при таком значении В/В, которое обеспечивает ей необходимые для вспучивания реологические характеристики, при этом оптимальное В/В отношение для конкретного состава смеси и данных условий при литьевом способе составляет 0,55, при вакуумном – 0,45, при вибрационном – 0,375, а при вибровакuumном – 0,23.

Данные рис. 2 подтверждают выводы о существенном влиянии способа вспучивания газобетонной смеси на оптимальное значение В/В, обеспечивающее формовочной массе наилучшую вспучиваемость. На величину В/В оказывают влияние состав смеси и конкретные условия производства.

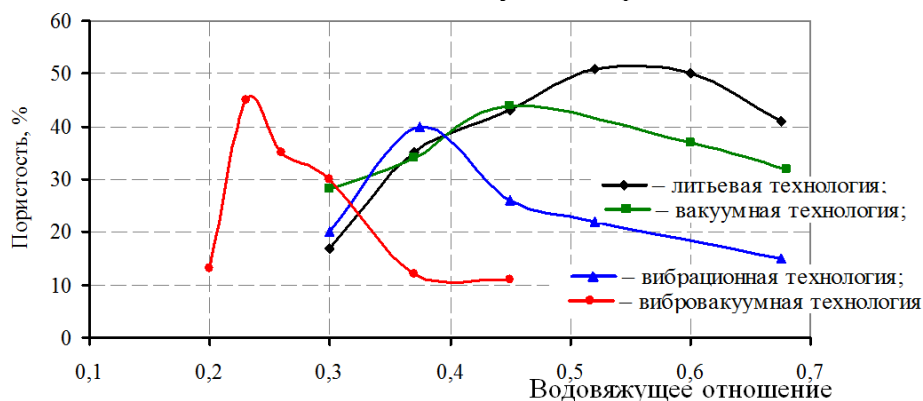


Рис. 1. Пористость газобетонной массы (на портландцементе) от водотвердого отношения при различных способах изготовления образцов

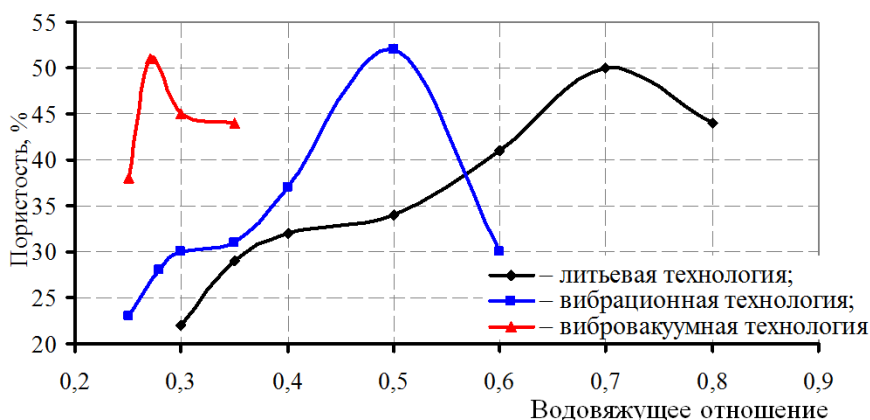


Рис. 2. Пористость газобетонной массы в зависимости от водовяжущего отношения

Так, из рис. 1 и 2 видно, что оптимальное значение В/В для составов смесей при литьевой технологии составляет 0,55...0,7; при вибрационной – 0,4...0,5; при вибровакuumной – 0,27...0,3. С изменением способа вспучивания сужается интервал оптимальных значений В/В,

при которых надежно обеспечивается вспучиваемость формовочной массы.

Применение формовочных смесей с более низким В/В приводит к повышению прочности бетона, что подтверждается экспериментально.

Результаты испытаний ячеистобетонных образцов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты испытания ячеистобетонных образцов

Применение, при прочих равных условиях, формовочных смесей с низким В/В отношением приводит к повышению прочности ячеистого бетона не менее 25 %, а в ряде случаев увеличению прочности до двух раз.

С величиной вакуума над смесью взаимосвязано оптимальное водовязущее отношение (рис. 3). С увеличением величины вакуума В/В отношение уменьшается при прочих равных условиях.

| Способ формования образцов | В/В | Средняя плотность, кг/м ³ | | R _{сж28} , МПа |
|----------------------------|-----|--------------------------------------|-------------------|-------------------------|
| | | до вспучивания | после вспучивания | |
| Литьевой | 0,6 | 1740 | 560 | 1,2 |
| Вибрационный | 0,4 | 1867 | 500 | 2,07 |
| Вибровакуумный | 0,3 | 1940 | 415 | 2,45 |

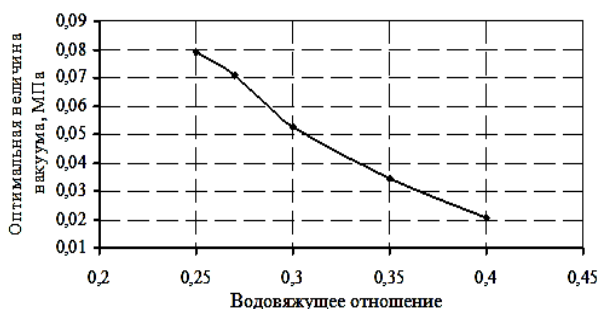


Рис. 3. Зависимость оптимальной величины вакуума от В/В отношения

Пористость ячеистого бетона зависит от количества введенного газообразователя, каждый килограмм которого при $T = 30^{\circ}\text{C}$ в результате взаимодействия со щелочью выделяет 1390 л водорода. Чем больше будет алюминиевой пудры (пасты) в массе, тем больше должна быть пористость последней. Но при этом существуют критерии, которые определяют предельное содержание газообразователя в ячеистобетонной массе. К ним относится коэффициент использования газообразователя, который представляет собой отношение объема газа, удержанного массой, к объему всего газа, образовавшегося в массе в результате реакции. Коэффициент использования газообразователя зависит от реологических свойств формовочной массы и если газодерживающая способность ее достигнет предела, то дальнейшее увеличение

расхода порообразователя не будет приводить к повышению пористости. В этом случае часть газа будет удаляться из массы и теряться бесследно, что нежелательно. Поэтому проводились исследования по определению оптимального расхода пудры на 1 м³ вибровакуумированного газобетона на композиционном вяжущем.

В формовочную массу вводили различное количество газообразователя (0,11...0,22 % от массы цемента) в виде суспензии. Смесью вспучивали вибровакуумным способом и определяли ее пористость для каждого расхода газообразователя. Зависимость величины пористости от расхода газообразователя представлена на рис. 4.

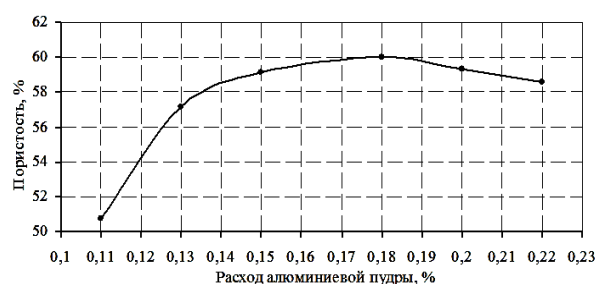


Рис. 4. Влияние расхода газообразователя на пористость ячеистой массы

Из рис. 4 следует, что содержание алюминиевой пудры в вибровакуумированном газобетоне не должно превышать 0,18...0,2 % от массы цемента. Дальнейшее увеличение расхода пудры не привело к увеличению пористости материала, а следовательно, нецелесообразно.

Неавтоклавный газобетон имеет ряд особенностей получения, которые не учтены в строительных нормах СН 277-80. В частности, так как газообразователь является основным компонентом при формировании пористой структуры газобетона, это потребовало уточнения расчета его количества. Предложен уточненный расчет количества газообразователя для получения газобетона с заданной пористостью.

Из выражения (3) определяется $P_{кр}$, а затем рассчитывается масса алюминиевой пудры по формуле:

$$m = \frac{P_{кр} \cdot Пор}{\alpha \cdot RTN} \quad (5)$$

где $Пор$ — пористость смеси, м³; α — коэффициент использования газообразователя; R — газовая постоянная, равная для водорода 4124,4 Дж/кг·К; T — температура смеси, равная $(273 + t^{\circ})$ К; N — количество водорода (кг), которое выделяет 1 кг алюминиевой пудры при температуре T .

Выражение (3) может быть применено и к реальным газам, но только при небольших давлениях, что характерно для нашего случая.

Пример расчета количества газообразователя. Исходные данные: $P_{op} = 0,6 \text{ м}^3$; $\rho_c = 1600 \text{ кг/м}^3$; $\tau_0 = 35 \text{ Па}$; $t = 30^\circ\text{C}$; $T = 303 \text{ К}$; $g = 10 \text{ м/с}^2$; $\alpha = 0,85$; $R = 4124,4 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$; $N = 0,125 \text{ кг}$; $h = 0,3 \text{ м}$; $d = 0,001 \text{ м}$; $\sigma = 0,07\text{Н/м}$; $K = 1390 \text{ л/кг}$.

Расчет количества алюминиевой пудры по СН 277-80 (на 1 м^3 смеси):

$$m = \frac{P_{op}}{\alpha K} = \frac{0,6}{0,85 \cdot 1390} = 0,508 \text{ кг.}$$

Уточненный расчет количества алюминиевой пудры при $P_{кр} = 0,1 \text{ МПа}$:

$$m = \frac{100000 \cdot 0,6}{0,85 \cdot 4124,4 \cdot 303 \cdot 0,125} = 0,453 \text{ кг}$$

То же при $P_{кр} = 0,3 \cdot 1600 \cdot 10 + 4 \cdot 70 + 4 \cdot 300 \cdot 35 + 100000 = 147280 \text{ Па}$.

$$m = \frac{147280 \cdot 0,6}{0,85 \cdot 4124,4 \cdot 303 \cdot 0,125} = 0,665 \text{ кг.}$$

То же при вибровспучивании смеси ($\tau_0 = 0$):

$$P_{кр} = 0,3 \cdot 1600 \cdot 10 + 4 \cdot 70 + 100000 = 105280 \text{ Па};$$

$$m = 0,475 \text{ кг.}$$

То же при высоте массива 1 м и вибровспучивании смеси ($\tau_0 = 0$):

$$P_{кр} = 1 \cdot 1600 \cdot 10 + 4 \cdot 70 + 100000 = 116280 \text{ Па};$$

$$m = 0,525 \text{ кг.}$$

Предложен уточненный расчет газообразователя, учитывающий реологические и гравитационные свойства формовочной массы, высоту вспучиваемого массива и характер воздействия на него при поризации, что особенно важно для смесей с низким водотвердым отношением и для получения ячеистобетонной смеси с заданной пористостью.

Достижение наилучшей вспучиваемости газобетонной смеси и образование качественной пористой структуры ячеистого бетона возможно в том случае, если соответствующим образом взаимоувязаны скорости протекания процессов газообразования и изменения реологических свойств массы.

Процесс вспучивания должен протекать таким образом, чтобы в момент интенсивного газообразования смесь обладала оптимальными для вспучивания характеристиками, а к концу газообразования и формирования пористой структуры последняя фиксировалась за счет сравнительно быстрого возрастания вязкости смеси и предельного напряжения сдвига.

Если скорость газообразования будет превышать скорость нарастания вязкости массы, то к концу ее вспучивания не зафиксируется полученная структура и произойдет осадка смеси. Если скорость нарастания вязкости массы будет превышать скорость газообразования, то возможно сравнительно небольшое вспучивание смеси и образование слоистой, рыхлой, неоднородной структуры бетона. Таким образом, только целенаправленное управление этими процессами дает возможность получить высококачественный материал.

Реологические характеристики ячеистобетонных смесей можно регулировать путем введения в них различных добавок поверхностно-активных веществ, стабилизаторов структуры, ускорителей и замедлителей схватывания вяжущих веществ, а также путем динамического воздействия на смеси.

Кинетика газообразования и вспучивания массы обуславливается размером и чистотой поверхности частиц газообразователя, рН и температурой среды, наличием активаторов газообразования и др.

Существенно улучшить процесс структурообразования можно за счет применения поверхностно-активных веществ, при этом получается наиболее равномерно распределенная структура пор. Исследования показывают, что введение в смесь суперпластификатора в количестве $0,2 \dots 0,6 \%$ от массы вяжущего существенно снижает В/В и повышает прочность бетона.

Повышение температуры смеси ускоряло процесс ее вспучивания и нарастания пластической прочности. В случаях, когда температура массы значительно ниже $40 \dots 42^\circ\text{C}$, процесс газообразования хотя и протекал интенсивно, отставал от роста пластической прочности смеси. Газообразование заканчивалось в уже схватившейся смеси. Пузырьки газа не могли ее вспучивать и, локализуясь, нарушали структуру газобетона, образуя полости, каверны. Поры имели неправильную форму, с острыми углами, а газобетон получался с повышенной средней плотностью и пониженной прочностью.

В случаях, когда температура смеси превышала оптимальную, газовыделение шло бурно, смесь быстро вспучивалась, как бы вскипала. Из-за недостаточной газодерживающей способности смеси часть газа из нее улетучивалась, структура нарушалась и смесь давала осадку.

Исследованиями установлено, что и при вибровакuumном способе изготовления образцов температура смеси в момент заливки ее в форму

40...42 °С при температуре формы 54...56 °С является оптимальной, позволяющей получать бетон с наилучшими физико-механическими характеристиками и равномерной пористой структурой.

Каждому составу газобетонной массы и каждому водовязущему отношению соответствует оптимальный режим вибровакуумирования, обеспечивающий получение наибольшей пористости, и наоборот, каждому режиму вибровакуумирования соответствует определенный оптимальный состав газобетонной смеси, обеспечивающий получение материала с наилучшими характеристиками.

Уточнялось время выдерживания вспученной смеси в вакууме после вибровакуумирования. Для этого выдерживали вспученные смеси с различным В/В при оптимальном значении вакуума в течение 5, 10 и 20 мин. Уточнялась длительность вибровакуумирования и другие параметры режима. Вибрирование осуществлялось в начальный и конечный периоды вакуумирования в течение 30, 90, 150 и 180 с. Также смесь подвергалась прерывистому вибрированию в течение 30 с интервалом в 1 мин.

Исследования показывают, что при $V/T = 0,28$ оптимальное время выдержки смеси в

вакууме после вибровакуумирования 5 мин, при $V/T = 0,3$ и $0,35$ – 10 мин. В результате, для смеси на композиционном вяжущем и с $V/B = 0,28$ установлен следующий режим обработки: вибровакуумирование при оптимальном вакууме 0,06 МПа – 1,5...2 мин, последующая выдержка в вакууме – 5 мин. Установленный режим обработки смеси согласуется с кинетикой изменения вязкости газобетонной смеси при динамическом воздействии на нее.

Дополнительное воздействие вакуума позволяет существенно снизить среднюю плотность ячеистобетонной смеси, предварительно вспученной традиционными способами поризации.

В зависимости от интенсивности внешнего воздействия вакуума среднюю плотность газозодухосодержащих масс можно снизить до 2 раз, например, с 800 кг/м^3 до 400 кг/м^3 (рис. 5). Используя фактор избыточного давления как основу создания пористой структуры, можно сократить количество газообразователя в газобетонных смесях, а также осуществить формирование пористой структуры композиций за счет воздуха, вовлеченного в смесь минеральным наполнителем.

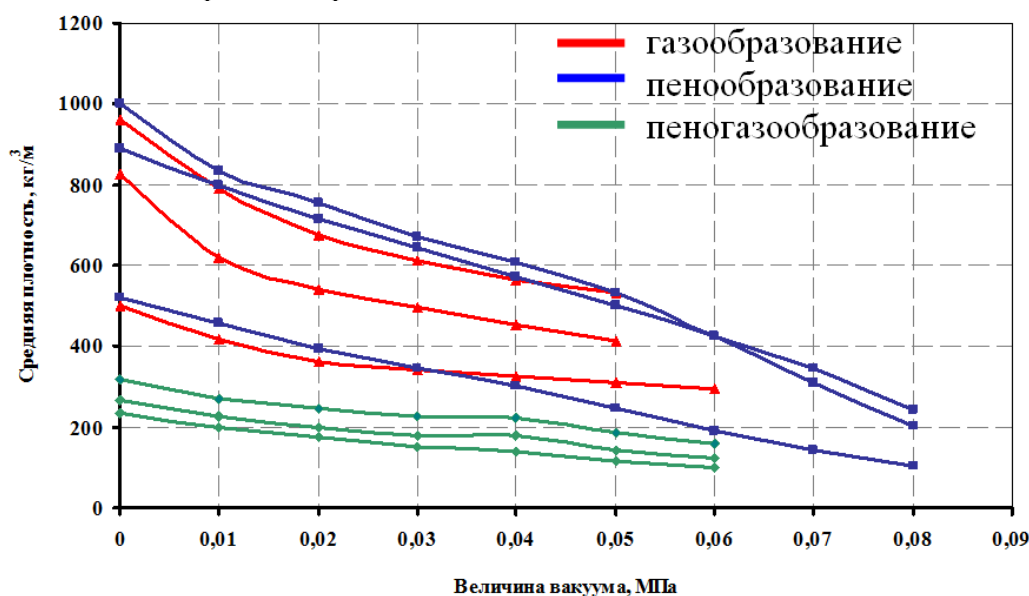


Рис. 5. Средняя плотность газозодухосодержащих масс при дополнительном воздействии вакуума

Применение вибровакуумирования в сочетании с традиционным способом позволяет при прочих равных условиях значительно снизить среднюю плотность материала, а, следовательно, повысить его экономичность и эффективность.

Экспериментально показано, что, используя фактор внешнего давления как основу создания структуры, можно уменьшить количество газообразователя и можно формировать пористую структуру композиций за счет воздуха, который содержится в минеральных наполнителях.

Дальнейшие проработки вопроса показали, что даже за счет воздуха, адсорбированного на поверхности мелких частиц композиционного вяжущего, и дополнительного воздуха, вовлекаемого в формовочную смесь при ее перемешивании, части воздуха, растворенного в воде, можно поризовать систему. Вся эта воздушная масса участвует в поризации формовочной смеси при ее вибровакуумировании. Чем больше в целом воздуха содержится в смеси, тем выше при прочих равных условиях ее пористость. Одновременно изменяется В/В отношение как основной фактор, влияющий на качество цементного камня мембраны.

Вибровакуумированный неавтоклавный ячеистый бетон на композиционном вяжущем характеризуется улучшенной микроструктурой порового пространства (рис. 6) и предельно низкими значениями среднего диаметра пор $d_{\text{пер}} = 0,18$ мкм, что обеспечивает высокие физико-механические характеристики неавтоклавного газобетона на композиционном

вяжущем: $\rho_c = 200 \dots 700$ кг/м³, $R_{\text{сж}} = 0,4 \dots 5$ МПа, $\lambda = 0,056 \dots 0,12$ Вт/м·°С, F15...50.

Долговечность конструкций из ячеистых бетонов главным образом зависит от его морозостойкости, атмосферостойкости и водопоглощения. Без видимых разрушений образцы из вибровакуумированного ячеистого бетона D500...D600, выдержали 50 циклов попеременного замораживания и оттаивания.

Также для управления процессом формирования пористой структуры ячеистых бетонов предложен способ совмещения процессов вспучивания смеси и тепловой обработки изделий в едином тепловом агрегате, позволяющий более полно использовать потенциальные возможности газообразователя, применять холодные формовочные смеси, исключить подогрев форм и предварительную выдержку изделий перед тепловлажностной обработкой, сократить производственный цикл на 2...9,5 ч, и в целом упростить технологический процесс и получить теплоизоляционный газобетон с $\rho_c = 160 \dots 220$ кг/м³ и с прочностью $R_{\text{сж}} = 0,3 \dots 0,63$ МПа.

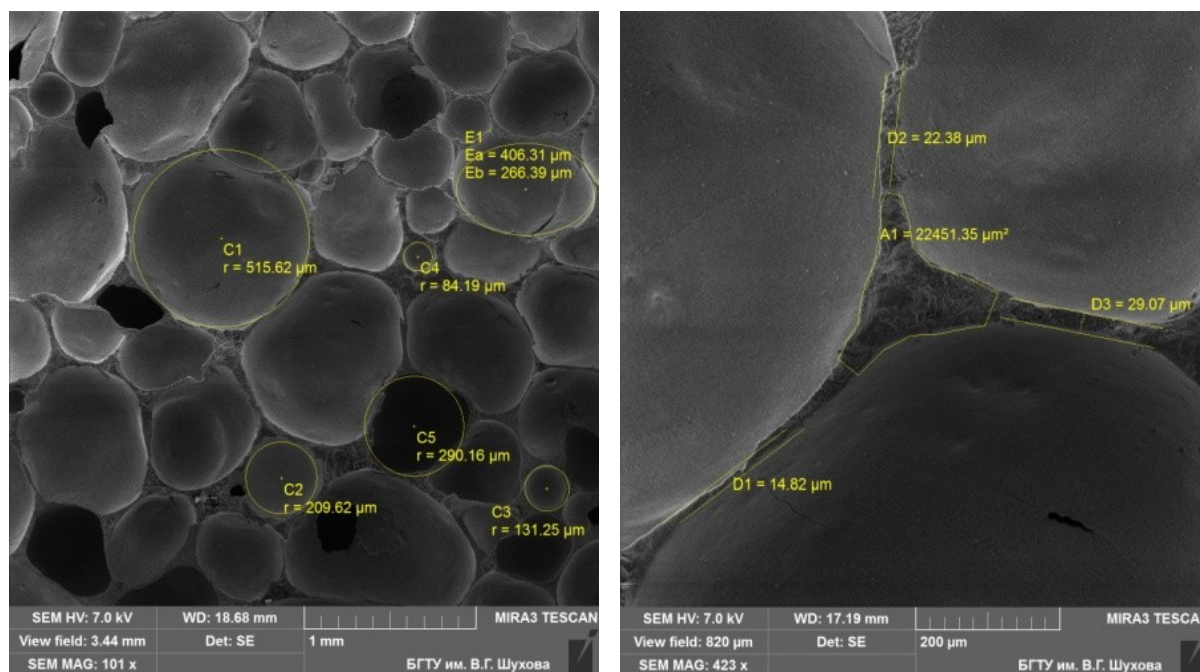


Рис. 6. Микроструктура вибровакуумированных газобетонных изделий на композиционных вяжущих

Газобетоны традиционно получают с использованием газообразователя, причем повышенного его количества. Однако пористую структуру можно получить не только за счет выделения газа, но и, как следует из уточненного уравнения Рэля-Плессета (1), за счет фактора внешнего давления.

Разработанные технологические приемы управления процессом формирования пористой

структуры значительно снижают среднюю плотность ячеистых бетонов.

Получению высокопоризованных композиций с заданными свойствами при минимальных затратах способствует и уточненная методика расчета количества газообразователя, учитывающая давление газа в порах вспучивающейся смеси, ее реологические свойства, среднюю плотность, высоту массива, внешнее воздействие на смесь.

Установленная взаимосвязь между давлением газовой фазы в формовочной массе с ее реологическими и гравитационными свойствами, диаметром пор, давлением внешней среды и поверхностным натяжением раствора, позволила обосновать оптимальные режимы получения качественной высокопоризованной структуры с управлением внешним давлением газовой фазы, обеспечивающие возможность поризовать высоковязкие композиции и получать неавтоклавный газобетон с улучшенными свойствами.

Получен неавтоклавный вибровакуумированный ячеистый бетон на композиционном вяжущем с улучшенными структурой и физико-механическими характеристиками: $\rho_c = 200...700 \text{ кг/м}^3$, $R_{сж} = 0,4...5 \text{ МПа}$, $\lambda = 0,056...0,12 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}$, F15...50.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гладков Д.И., Ерохина Л.А., Загороднюк Л.Х. Вибровакуумная технология ячеистых бетонов // Бетон и железобетон. 1991. № 9. С. 13.
2. Сулейманова Л.А. Вибровакуумированный ячеистый бетон: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Москва, 1997.
3. Сулейманова Л.А. Вибровакуумированный ячеистый бетон. Белгород, 1997.
4. Сулейманова Л.А., Гридчин А.М., Лесовик В.С., Гладков Д.И. Новые технологии высокопоризованных бетонов // В сборнике: Поробетон-2005. Белгород: Изд-во БГТУ, 2005. С. 6–16.
5. Сулейманова Л.А., Ерохина И.А., Сулейманов А.Г. Ресурсосберегающие материалы в строительстве // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2007. № 7. С. 113–116.
6. Сулейманова Л.А., Погорелова И. А., Строкова В.В. Сухие строительные смеси для неавтоклавных ячеистых бетонов. Белгород, 2009.
7. Сулейманова Л.А., Кара К.А. Энергосберегающие технологии высокопоризованных бетонов // В сборнике: Белгородская область: прошлое, настоящее, будущее. Материалы областной научно-практической конференции в 3-х частях. 2011. С. 98–102.
8. Сулейманова Л.А. Газобетон неавтоклавного твердения на композиционных вяжущих: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.05 / Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Белгород, 2013.

Suleymanova L.A.

MANAGEMENT THE PROCESS OF FORMATION OF POROUS STRUCTURE OF CELLULAR CONCRETE

The interrelation is established between the pressure of the gas phase in the molding composition and its rheological and gravitational properties pore diameter, the pressure of the environment, and the surface tension of the solution, the equation of Rayleigh-Plesset was specified and it allowed to substantiate the optimal modes of getting quality high-porous structure with the management of the external pressure of the gas phase, ensuring a possibility to create porous structure of highly viscous compositions and obtain non-autoclave aerated concrete with improved properties.

Key words: *formation of a porous structure, aerated concrete, external pressure*

Сулейманова Людмила Александровна, доктор технических наук, профессор кафедры строительства и городского хозяйства.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: ludmilasuleimanova@yandex.ru.