

О ВЛИЯНИИ ОБРАБОТКИ ПЕНОБЕТОННОЙ СМЕСИ ПЕРЕМЕННЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОЛЕМ НА СВОЙСТВА ПЕНОБЕТОНОВ

Щербань Е.М., Ткаченко Г.А., Гольцов Ю.И., Стельмах С.А.

*ГОУ ВПО Ростовский государственный строительный университет, Ростов-на-Дону
Ростов-на-Дону, Россия (344022, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162) au-geen@mail.ru*

Проведён анализ результатов влияния обработки пенобетонной смеси переменным электрическим полем на свойства пенобетонов. Был применён способ уплотнения материала межпоровых перегородок при помощи воздействия поля на частицы минерального заполнителя. Анализ полученных результатов выявил эффективность данной обработки. Пенобетон из обработанной смеси имеет более низкую плотность вследствие того, что произошло увеличение объёма пор без нарушения целостности каркаса материала после уплотнения межпоровых перегородок. Эти изменения привели к увеличению коэффициента конструктивного качества (ККК) образцов, обработанных электрическим полем, по сравнению с ККК контрольных образцов на 18 %.

Ключевые слова: коэффициент конструктивного качества, межпоровая перегородка, напряжённость электрического поля, переменное электрическое поле, электровиброобработка.

ABOUT THE INFLUENCE OF TREATMENT OF FOAM CONCRETE MIXTURE BY VARIABLE ELECTRIC FIELD ON THE PROPERTIES OF FOAM CONCRETE

Scherban E.M., Goltsov Yu.I., Tkachenko G.A., Stelmakh S.A.

*Rostov State Building University, Rostov-on-Don
Rostov-on-Don, Russia (344022, Rostov-on-Don, Socialisticheskaya st, 162) au-geen@mail.ru*

The analysis of the results of the influence of treatment foam concrete mixture by variable electric field on the properties of foam concretes is carried out. Method of sealing material interporous partitions with the impact of the field on the particles of mineral filler was applied. The analysis of the results showed the effectiveness of this treatment. Foam concrete from the treated mixture has a lower density due to the fact that there was an increase of the pore volume without integrity infringement of the frame of the material after compaction interporous partitions. This changes have led to an increase in the coefficient of the constructive quality (CCQ) of the samples, treated with an electric field, as compared with a CCQ of control samples at 18 %.

Key words: the coefficient of constructive quality, interpore partition, the electric field intensity, variable electric field, electric vibration treatment.

Управление процессом структурообразования в пенобетонной смеси – одно из важнейших направлений улучшения качества и, прежде всего, физико-механических свойств пенобетонов. Как известно, прочность ячеистых бетонов в значительной степени зависит от физико-механических свойств материала межпоровых перегородок и, в частности, от его плотности [1]. Однако в реальных материалах плотная упаковка твёрдых частиц обычно не достигается из-за их угловатости и шероховатости. В технологии тяжёлых бетонов проблему уплотнения структуры обычно решают с помощью механического вибрирования, и более упорядоченное расположение зёрен заполнителя является результатом действия гравитационных сил после тиксотропного разжижения цементного раствора. Исходя из размеров зёрен заполнителя в тяжёлых бетонах, для улучшения их структуры обычно используют колебания промышленных частот 50–100 Гц. Однако частицы инертных компонентов в пенобетоне имеют размеры менее 1 мм, что требует повышения частоты вибрирования в 10^2 и более раз. Колебания таких частот в вязких средах быстро затухают, а повышение их мощности приводит к нежелательному изменению макроструктуры пенобетона, что и было зафиксировано в ряде работ.

В технологии пенобетона может оказаться эффективным способ уплотнения материала межпоровых перегородок с целью ликвидации в нём капиллярной пористости и увеличения площади межчастичных фазовых контактов при помощи воздействия на сформировавшуюся пенобетонную смесь переменного электрического поля. Как известно, частицы цемента и минерального заполнителя, в частности кварцевого песка, имеют поверхностный электрический заряд [2, 3].

В начальный период гидратации цементных частиц в смеси и возникновения коагуляционных межчастичных контактов твёрдые заряженные частицы в жидкой среде находятся во «взвешенном» равновесном состоянии с фиксацией преимущественно в положениях дальнего энергетического минимума [4]. В результате возникающего периодического механического воздействия, создаваемого переменным электрическим полем, эти частицы вместе с их сольватными оболочками можно перевести в колебательное движение. Тем самым случайные непрочные структурные связи в наполненном цементном тесте будут разрушаться. Это вызовет его тиксотропное разжижение в микрообъёмах, что и будет способствовать более плотной упаковке частиц инертных компонентов в материале межпоровой перегородки. Преимуществом данного метода является подведение энергии колебаний непосредственно к зёрнам заполнителя без воздействия на макропоры в структуре пенобетонной смеси.

Рассмотрим теоретические основы предложенного технологического приёма. Пусть пенобетонная смесь находится между плоскими электродами, расположенными на расстоянии l друг от друга и к ним приложено переменное электрическое напряжение $U = U_0 \cos \omega t$. Пусть также величина заряда зерна заполнителя пенобетонной смеси равна

q , а его масса – m . Тогда в переменном электрическом поле $E = E_0 \cos \omega t$, где $E_0 = \frac{U_0}{l}$ –

амплитуда электрического поля в объёме материала, на зерно будет действовать сила $F(t) = F_0 \cos \omega t$, где $F_0 = qE_0$. Так как зерно находится в слабовязкой среде и окружено

другими такими же зёрнами, то к нему будут приложены ещё квазиупругая сила $F_y = kx$,

где x – смещение частицы из положения равновесия, и сила сопротивления $F_c = rv$, где v –

скорость частицы, а r – коэффициент сопротивления среды. В установившемся режиме зерно заполнителя будет совершать вынужденные гармонические колебания с

амплитудой:

$$A(\omega) = \frac{q_0 E_0}{m \sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2) + \frac{r^2 \omega^2}{m^2}}}$$

Для поддержания вынужденных колебаний в системе с вязким трением должна быть затрачена определённая мощность [5], поглощаемая в нашем случае пенобетонной смесью при электровиброобработке. Её можно назвать мощностью потерь, так как она расходуется на преодоление сил сопротивления среды при колебаниях частиц заполнителя и, в конечном счете, превращается в тепло. Средняя мощность потерь в бетонной смеси объёмом V с концентрацией частиц заполнителя n :

$$P_n = \frac{nrq^2 U_0 \omega^2 V}{2m^2 l^2 \left[(\omega_0^2 - \omega^2) + \frac{r^2 \omega^2}{m^2} \right]}$$

Эта мощность равна электрической мощности, потребляемой от генератора переменного напряжения: $P_{эл} = \frac{1}{2} U_0 I_{a0}$, где I_{a0} – амплитуда активной составляющей тока,

протекающего через бетонную смесь. Таким образом:

$$I_{a0} = \frac{nrq^2 \omega^2 V U_0}{m^2 l^2 \left[(\omega_0^2 - \omega^2) + \frac{r^2 \omega^2}{m^2} \right]}$$

Как видно, поглощение энергии пенобетонной смесью будет иметь резонансный характер, а зависимость I_{a0} от круговой частоты ω должна иметь максимум при $\omega \approx \omega_0$. Очевидно, в этом случае режим электровиброобработки будет наиболее эффективным.

Для проверки высказанного предположения была использована специальная измерительная ячейка с цилиндрическими коаксиальными электродами, изображённая на рис.1.



Рис. 1. Измерительная ячейка с цилиндрическими электродами, подключённая к генератору и мультиметру

Её заполняли приготовленной пенобетонной смесью и подключали к генератору низких частот ГЗ–118. Величина приложенного напряжения составляла 0,1 В. Силу переменного тока в цепи датчика измеряли с помощью мультиметра В7–21А. Длительность опыта по снятию частотной характеристики измерительной ячейки с пенобетонной смесью составляла не более 10–15 мин, и, как было установлено, реологические свойства и электросопротивление смеси за это время практически не менялись.

Пенобетонную смесь готовили в турбулентном смесителе за один приём. В опытах были использованы бездобавочный портландцемент М 400, заполнители – рядовой песок с $M_{кр}=0,83$ и пески отдельных фракций: 315–140 мкм и 140–70 мкм и пенообразователь «Ареком–4» (0,3 % от массы цемента). Водотвёрдое отношение в смесях составляло 0,4. На рис. 2 приведены зависимости действующего значения полного тока I (а) и его составляющей I_{ω} (б) от частоты ω приложенного напряжения. Значение тока I_{ω} , определяющее величину электрической мощности, получаемой от генератора на поддержание вынужденных колебаний частиц заполнителя, находили как $I_{\omega} = I - I_{св}$,

где $I_{скв}$ – величина тока сквозной проводимости, которую находили аппроксимацией кривых $I(\omega)$ на значение частоты $\omega \rightarrow 0$.

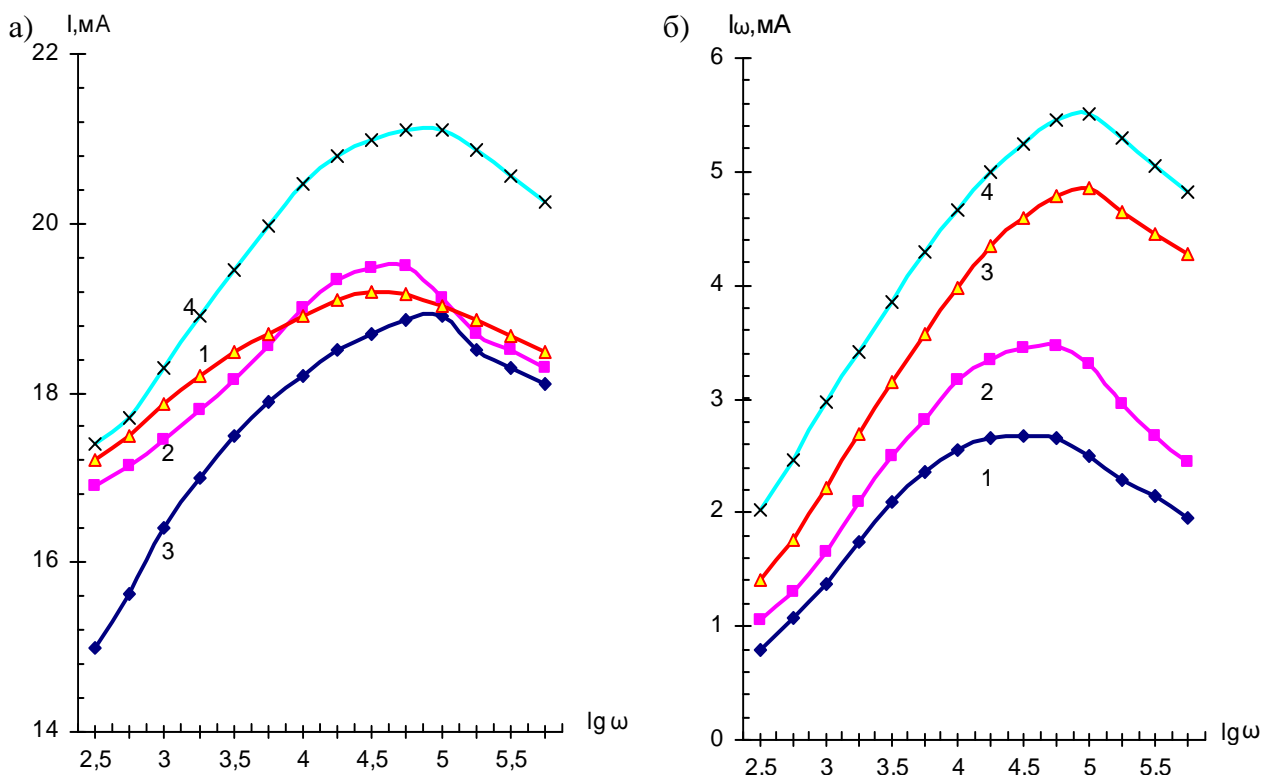


Рис. 2. Зависимости полного тока (а) и тока, характеризующего потери энергии колебаний (б) через пенобетонные смеси с различными заполнителями и добавками, от частоты переменного электрического напряжения

Кривые 1–3 соответствуют пенобетонным смесям, в которых в качестве заполнителя использовали песок различной дисперсности: 1 – рядовой песок с $M_{кр}=0,83$; 2 – фракция 315 – 140 мкм этого же песка и 3 – фракция 140 – 70 мкм. Из рисунка видно, что поглощение энергии пенобетонной смесью имеет, как и предполагалось, резонансный характер. Хотя каждая из кривых получается в результате суперпозиции таких же кривых для каждого отдельного размера зерна, но положение максимума на кривых 1–3 соответствует, очевидно, средневзвешенному размеру зерна в составе фракции заполнителя и закономерно смещается в сторону больших частот. Кривая 4 соответствует дополнительному введению в состав пенобетонной смеси, в которой заполнителем является песок фракции 140–70 мкм, суперпластификатора С-3. Как видно из рисунка, в результате снижения вязкости цементно-песчаного раствора величина тока I_{ω} в максимуме кривой возрастает, что, по-видимому, связано с увеличением количества минеральных частиц, участвующих в колебательном движении.

Результаты проведённых опытов позволили продолжить исследования в направлении оценки влияния электровиброобработки на физико-механические свойства затвердевших пенобетонов на стандартных образцах. Для приготовления пенобетонных смесей использовали бездобавочный портландцемент с $R_c=42-43$ МПа, специально подготовленные пески различной гранулометрии и синтетический пенообразователь «Центрипор». Пенобетонную смесь готовили в турбулентном смесителе за один приём. В процессе приготовления вязкость цементно-песчаных шликеров оставалась примерно постоянной и составляла 350 мм (по Суттарду). Плотность пенобетонной смеси равнялась 640–660 кг/м³. Для изготовления образцов-кубов с ребром 7 см подготовленную пенобетонную смесь укладывали в формы из диэлектрического материала с плоскими

металлическими электродами, расположенными на двух противоположных боковых сторонах. Обработку пенобетонной смеси электрическим полем проводили сразу же после её укладки. Для этого электроды подсоединяли к генератору переменного электрического напряжения. Оптимальное время воздействия переменного электрического поля напряжённостью 1,5 В/см составило 0,5–1 мин. Одновременно готовили контрольные образцы-кубы из необработанной электрическим полем пенобетонной смеси. Затем обе партии образцов твердели в нормальных условиях и были испытаны в проектном возрасте. Определение физико-механических свойств образцов (средней плотности в сухом состоянии, прочности при сжатии при нормируемой влажности 10 % и однородности этих свойств) производили по стандартным методикам.

Сравнение пенобетонов из обработанной и необработанной пенобетонных смесей проводили также по величине коэффициента конструктивного качества (ККК), представляющего собой отношение средней прочности пенобетона R_{10} (кПа) к его средней плотности ρ_0 (кг/м³).

В таблице представлены результаты проведённых опытов.

Таблица – Результаты сравнения свойств пенобетонов из обработанной и необработанной пенобетонных смесей

Вре- мя обра- ботки	Пенобе- тонная смесь	Плотность пенобетон- ной смеси, кг/м ³	Плот- ность пенобето- на, кг/м ³	Предел прочнос- ти при сжатии, МПа	Вариации свойств, %		ККК, кПа·м ³ /кг
					проч- ность	плот- ность	
Вид наполнителя – песок, размер частиц: 0,16–0,315 мм							
0,5 мин	необ- рабо- танная	610	491	0,95	15,1	4,2	1,9
	обрабо- танная	610	469	0,96	14,0	2,6	2,1
1 мин	необ- рабо- танная	650	545	0,91	11,0	3,5	1,7
	обрабо- танная	650	505	1,00	12,3	1,7	2,0

Анализ полученных результатов выявил эффективность обработки пенобетонной смеси переменным электрическим полем. Пенобетон из обработанной смеси имеет более низкую плотность вследствие того, что при кратковременной электровиброобработке произошло уплотнение материала межпоровых перегородок и, соответственно, увеличение объёма пор без нарушения целостности каркаса материала. Эти изменения в структуре пенобетона привели к незначительному увеличению прочности в сравнении с контрольными образцами, но ККК пенобетона составил 2,0 кПа·м³/кг и на 18 % превысил аналогичный показатель для контрольных образцов.

Аналогичные эксперименты были проведены со смесями на песках другой дисперсности. Результаты испытаний показали, что для обработки пенобетонных смесей с грубыми заполнителями, а также более вязких смесей необходимо повышение напряжённости электрического поля.

Список литературы

1. Технология теплоизоляционных материалов / Ю.П. Горлов, А.П. Меркин, А.А. Устенко. – М.: Стройиздат, 1980. – 399 с.
2. Баженов Ю.М. Технология бетона. – М.: Изд-во АСВ, 2007. – 528 с.
3. Айлер Р. Химия кремнезёма / Под ред. д-ра техн. наук проф. В.П. Прянишникова. – М.: Мир, 1982. Ч. 2. – 712 с.
4. Шахова Л.Д. Технология пенобетона. Теория и практика. Монография. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2010. – 248 с.
5. Колебания и волны / В.А. Алешкевич, Л.Г. Деденко, В.А. Караваев. – М.: Изд-во Физического факультета МГУ, 2001. – 147 с.

Рецензенты:

Несветаев Г. В., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Технологии строительного производства» Ростовского государственного строительного университета, г. Ростов-на-Дону.

Снежков В.И., д.ф.-м.н., профессор кафедры физики Ростовского государственного строительного университета, г. Ростов-на-Дону.