

Технические науки

УДК 693.542

Пенообразователи и прочность пенобетона

¹ Альбина Алексеевна Баранова

² Андрей Иванович Савенков

¹ Ангарская государственная техническая академия, Российская Федерация
665835, Иркутская область, г. Ангарск, ул. Чайковского, 60
Старший преподаватель
E-mail: baranova2012aa@mail.ru

² Ангарская государственная техническая академия, Российская Федерация
665835, Иркутская область, г. Ангарск, ул. Чайковского, 60
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: savenkov_andrey@mail.ru

Аннотация. В статье изложены результаты сравнительного исследования влияния протеинового и синтетического пенообразователей на подвижность, сроки схватывания цементного теста и прочность цементной матрицы и пенобетона.

Ключевые слова: пенообразователь; пенобетон; цементное тесто; сроки схватывания; прочность; цементный камень.

Введение. Пенообразователь является одним из важных компонентов при изготовлении пенобетона. Технология производства пенобетона, а так же технические и эксплуатационные характеристики получаемой продукции зависят именно от него. Различные пенообразователи по-разному влияют на структуру образования, формирования и твердения пенобетонной массы, что в последствие сказывается на эксплуатационных характеристиках зданий и сооружений, построенных из пенобетона. Чем больше пор и, соответственно, тоньше межпоровые стенки цементного камня, тем меньше средняя плотность и, соответственно, прочность поризованного материала. Так как прочность межпоровой перегородки ячеистого бетона влияет на конечную прочность пенобетонного изделия, то повысив физико-механические показатели матрицы, можно повысить прочностные характеристики пенобетона. Здесь можно предложить следующий механизм влияния: компоненты смеси – матрица – пенобетон. Исследовав действие пенообразователей различного происхождения на матрицу, можно установить какой из них предпочтительней для производства пенобетона, т.е. сравнить их потребительские свойства.

Целью исследований было определить влияние синтетического и протеинового пенообразователей и их концентрации на такие технологические параметры приготовления пенобетона, как: подвижность, сроки схватывания, прочность матрицы, а, следовательно, и на свойства пенобетона.

Материалы и методы. В работе использовались цемент марки ПЦ-500-До производства ОАО “Ангарскцемент”, синтетический пенообразователь Пента Пав 430А, протеиновый пенообразователь Омпор.

Синтетический пенообразователь Пента Пав 430А относится к анионным пенообразователям, которые в свою очередь относятся к алкилбензолсульфонатам и алкилсульфонатам с длиной углеводородного радикала $C_{12}-C_{19}$. Анионные свойства придают ему сульфогруппы $-SO_3^-$ и $-OSO_3^-$.

Протеиновый пенообразователь Омпор относится к высокомолекулярным амфолитным поверхностно-активным веществам (ПАВ) с длиной молекулярной цепи до 20 тыс. углеводородных групп. Амфолитные свойства придаёт ему наличие двух активных радикалов в полипептидной цепи: катионных аминогрупп – NH_2 и анионных карбоксильных групп – $COOH$. Согласно правилу Таубе [1], длина углеродной цепочки ПАВ влияет на его активность. В связи с этим, необходимо было подтвердить это правило на основании проведённых экспериментов.

Обсуждение проблемы. Благодаря присутствию в составе смеси поверхностно активных веществ (ПАВ) – пенообразователей, возможно формирование пористой структуры ячеистого бетона. Однако их наличие замедляет сроки схватывания пенобетонного массива и рост его прочности. В основном, это связано с тем, что ПАВ создают на поверхности сольватных оболочек цементного коллоида адсорбционный слой, инициирующий стерический эффект отталкивания [1]. Этот эффект количественно можно выявить на матрице без её вспенивания. Такой подход определяет влияние ПАВ в «чистом виде», исключая технологические факторы. Предварительные исследования, проведённые в работах [2, 3, 4, 5], подтверждают достоверность взаимосвязи прочности матрицы и свойств пенообразователей.

При приготовлении неавтоклавных пенобетонов используются как протеиновые, так и синтетические пенообразователи. Для того чтобы обеспечить заданную среднюю плотность пенобетону, в его составе должно быть достаточное количество пенообразователя, но такое, чтобы его присутствие не ухудшило качество готового изделия. Исследованиями авторов [6, 7] установлено, что при достижении ККМ (критической концентрации мицеллообразования) различных пенообразователей, свойства раствора ПАВ изменяются. При этом становится возможным формирование устойчивой пенной структуры без серьёзного ухудшения прочностных показателей ячеистобетонного массива.

Исследования прочности вспененной цементной матрицы проводились авторами [8, 9, 10, 11]. И все авторы утверждают, что прочность вспененного тела зависит от прочности плотного. Прочность пенобетона R_b в зависимости от пористости n и прочности плотной матрицы R_m можно выразить согласно [12] следующей формулой:

$$R_b = R_m (1 - n)^b, \quad (1)$$

где b – эмпирический показатель.

Следовательно, рассматривая взаимосвязь содержания пенообразователя с прочностью плотной матрицы, можно прогнозировать прочность пенобетона.

Результаты. Для оценки влияния пенообразователя на подвижность цементное тесто в контрольном замесе и с добавкой пенообразователя приготавливалось ручным способом в соответствии с ГОСТ 310.3-2003. Подвижность контрольного цементного теста ($V/C=0,4$) и с добавками пенообразователей Пента Пав 430А и Омпорт разной концентрации в воде затворения (от 0,3 до 3 %) определялась вискозиметром Сутгарда в соответствии с ГОСТ 23789-79.

Сроки схватывания контрольного цементного теста ($V/C=HГ=0,27$) и с добавками пенообразователей Пента Пав 430А и Омпорт разной концентрации в воде затворения (от 0,3 до 3 %) определялись прибором Вика в соответствии с ГОСТ 310.3-2003.

Таблица 1

Подвижность и сроки схватывания цементного теста с добавками ПАВ

Количество пенообразователя в цементном тесте, % от массы цемента	«Пента Пав 430А»			«Омпорт»		
	Подвижность цементного теста, см	Сроки схватывания, мин.		Подвижность цементного теста, см	Сроки схватывания, мин.	
		Начало	Конец		Начало	Конец
0	14,3	200	275	14,3	200	275
0,1	13,8	220	294	15,9	185	270
0,2	13,5	232	300	16,1	180	266
0,3	13,0	238	302	16,3	177	260
0,4	12,5	243	305	16,8	175	250
0,5	12,3	245	310	17,0	173	243
0,6	12,1	252	312	17,4	169	238
0,7	11,9	255	315	17,6	167	232
0,8	11,6	262	319	18,0	165	225

Для того, чтобы определить влияние пенообразователей различного происхождения на прочность цементного камня (пеноцементной матрицы), из контрольного цементного теста (В/Ц=0,27) и цементного теста с добавками пенообразователей Пента Пав 430А и Омпор разной концентрации в воде затворения (от 0,3 до 3 %) были изготовлены балочки размером 4х4х16 см. После 28 суток нормального твердения половинки балочек были испытаны на сжатие в соответствии с ГОСТ 310.4-81. Результаты испытаний сведены в таблицы 1, 2.

Таблица 2

Прочность при сжатии цементной матрицы с добавками ПАВ

Количество пенообразователя в цементном тесте, % от массы цемента	с добавкой «Пента Пав 430А»		с добавкой «Омпорт»	
	Средняя плотность образцов, кг/м ³	Прочность при сжатии образцов, МПа	Средняя плотность образцов, кг/м ³	Прочность при сжатии образцов, МПа
0	1915	77,6	1915	77,6
0,1	1838	68,9	1852	75,1
0,2	1792	68,3	1872	71,8
0,3	1756	64,8	1849	70,4
0,4	1806	63,2	1860	69,9
0,5	1806	60,6	1808	68,5
0,6	1694	57,4	1805	67,6
0,7	1779	55,1	1808	67,1
0,8	1804	53,1	1816	66,1

По результатам испытаний (таблица 1), установлено, что с увеличением концентрации синтетического пенообразователя Пента ПАВ 430А в диапазоне от 0,3 до 3 %, (считая 100 % концентрации жидкий пенообразователь, поставляемый на рынок), диаметр расплыва или подвижность цементного теста по Суттарду уменьшается. С увеличением концентрации протеинового пенообразователя Омпорт в диапазоне от 0,3 до 3 % диаметр расплыва (подвижность) цементного теста по Суттарду увеличивается вследствие стерического эффекта [1], т.е. пенообразователь Омпорт обладает пластифицирующим эффектом (водоредуцирующий коэффициент составляет до 5 %). Присутствие синтетического пенообразователя Пента Пав 430А в диапазоне от 0,3 до 3 % увеличивает сроки схватывания цементного теста в среднем на 30 минут, по сравнению с контрольным цементным тестом. Наличие в цементном тесте протеинового пенообразователя Омпорт в диапазоне от 0,3 до 3 % сокращает его сроки схватывания в среднем на 30 минут, по сравнению с контрольным цементным тестом.

Здесь имеется некоторое противоречие: добавка Омпорт даёт небольшой пластифицирующий эффект. В тоже время, он же уменьшает сроки схватывания, что не соответствует классическому представлению о пластификации цементных систем. Возможно, это связано с тем, что при производстве протеинового пенообразователя в качестве стабилизатора применяется сульфат железа или фторид натрия, которые в растворе дают эффект небольшого ускорения сроков схватывания.

Из таблицы 2 видно, что присутствие синтетического пенообразователя Пента Пав 430А в диапазоне от 0,37 до 3 % уменьшает прочность цементного камня до 25 %, по сравнению с цементным камнем без добавок. А присутствие протеинового пенообразователя Омпорт в диапазоне от 0,37 до 3 % уменьшает прочность цементного камня до 10 %, по сравнению с цементным камнем без добавок.

Образцы пенобетона (вспененного цементного камня) размером 100х100х100 мм приготавливались по классической схеме (цементный раствор и пена готовились по отдельности, затем вместе перемешивались в течении 1 минуты), выдерживались 28 суток в камере нормального твердения, высушивались до постоянной массы при температуре

100±5 °С и испытывались на сжатие в соответствии с ГОСТ 10180–90. Результаты приведены в таблице 3.

Таблица 3

Характеристики пенобетона в зависимости от ПАВ

«Пента Пав 430А»			«Омпорт»		
Средняя плотность пенобетона, кг/м³	Прочность при сжатии пенобетона, МПа	Теплопроводность, Вт/м·°С	Средняя плотность пенобетона, кг/м³	Прочность при сжатии пенобетона, МПа	Теплопроводность, Вт/м·°С
410	0,77	0,101	410	1,69	0,112
475	1,1	0,114	475	2,22	0,124
600	0,83	0,148	600	3,46	0,141
850	2,7	0,171	850	7,05	0,169

Согласно данным таблицы 2 можно вывести следующую закономерность:

$$R_m = R_0 - k \cdot c, \quad (2)$$

где R_0 – прочность матрицы при нулевой концентрации пенообразователя, МПа; k – коэффициент снижения прочности, зависящий от вида пенообразователя, для Омпорт $k=1,83$, для Пента Пав 430А $k=3,23$; c – количество пенообразователя в цементном тесте, % от массы цемента.

Подставив значение прочности матрицы в формулу 1 и с учётом того, что $n = 1 - \frac{\rho_m}{\rho}$, в итоге получается формула:

$$R_b = (R_0 - k \cdot c) \cdot \left(\frac{\rho_m}{\rho} \right)^b, \quad (3)$$

где b зависит от средней плотности пенобетона и находится в пределах от 3 для D400 и до 4,5 для D900; ρ_m – средняя плотность пенобетона, кг/м³; ρ – плотность невспененной матрицы, кг/м³.

Закключение. Анализируя полученные результаты можно сделать следующие выводы:

- при классической технологии цементный раствор матрицы в присутствии протеинового пенообразователя не теряет подвижность и схватывается быстрее по сравнению с матрицей на синтетическом ПАВ;

- природа пенообразователя не оказывает существенного влияния на теплопроводность пенобетона.

- наличие поверхностно-активных веществ однозначно снижает прочность матрицы, но в присутствии протеинового пенообразователя этот эффект проявляется в меньшей степени. Установлено, что применение протеинового пенообразователя более предпочтительно при производстве пенобетонных изделий, так как согласно данным таблицы 2 и формуле 2, значение коэффициента k ниже, чем у синтетического. Это означает меньшее отрицательное воздействие на прочность межпоровой перегородки, а, следовательно, и на прочность готового пенобетона.

Примечания:

1. Шахова Л.Д. Технологии пенобетонных изделий. Теория и практика. М.: АСВ. 2010. 248 с.
2. Баранова А.А. Влияние пенообразователей на свойства цементного теста // Сборник научных трудов. 2012. № 1. С. 116-118.

3. Савенков А.И., Баранова А.А. Прочность и подвижность пеноцементной матрицы в присутствии пенообразователей // Материалы I международной научно-практической конференции «Теория и практика внедрения новых технологий и материалов в производстве и строительстве». Москва. 2012. С. 83-88.
4. Савенков А.И., Баранова А.А. Влияние концентрации пенообразователей на свойства пеноцементной матрицы // Сборник научных трудов Ангарской государственной академии: Техническая кибернетика. Химия химические технологии. Строительство. Транспорт. Физика и математика. Общественные науки. Медицина и экологические проблемы. Экономика. 2013. № 1. С. 182-186.
5. Baranova A.A., Savenkov A.I., Gorbach P.S. Confronto di forza e matrix schiuma su schiumogeni sintetici e di protein // ITALIAN SCIENCE REVIEW. March. 2014. № 3 (12). P. 208-211.
6. Щербин С.А., Савенков А.И., Чиркина Е.А., Горбач П.С. Определение критической концентрации мицеллообразования различных пенообразователей // Вестник ТГАСУ. 2007. № 1. С. 216-219.
7. Горбач П.С., Щербин С.А. Научнообоснованный выбор пенообразователя и его концентрации // Вестник ТГАСУ. 2012. № 4. С. 191-199.
8. Рой Д.М., Гауда Г.Р. Связь пористость-прочность в цементных материалах повышенной прочности. J. Am. Ceram. Soc. 1973. № 56. С. 549-550.
9. Kearsley E.P., Wainwright P.J. Porosity and permeability of foamed concrete // Cem. And Concr. Res. 2001. № 5. P. 805-812.
10. Намбиар Е.К.К., Рамамурти К. Модели для прогнозирования прочности пенобетона, J. Mater. Struct. 2008. № 41. С. 247-254.
11. Хархардин А.Н. Структурная топология пенобетона. // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2005. № 5. С. 18-25.
12. Чен Х., Ву Ш., Жоу Ж. Влияние пористости на прочность при сжатии и растяжении цементного раствора. // Construction and Building Materials. 2013. № 40. С. 869-874.

UDC 693.542

Foam Maker and Foam Concrete Durability

¹ Albina A. Baranova

² Andrei I. Savenkov

¹ Angarsk State Technical Academy, Russian Federation
665835 Irkutsk region, Angarsk city, Tchaikovsky Str., 60
Senior lecturer
E-mail: baranova2012aa@mail.ru

² Angarsk State Technical Academy, Russian Federation
665835, Irkutsk region, Angarsk city, Tchaikovsky Str. 60
PhD (technical), Assistant Professor
E-mail: savenkov_andrey@mail.ru

Abstract. The article presents the results of a comparative study of the influence of protein and synthetic foaming agent on the flow, stiffening times of cement grout and strength of cement matrix and foam concrete.

Keywords: foaming agent; foam concrete; cement grout; stiffening times; strength; cement stone.