

УДК 691.327.333

ПЕНОБЕТОНЫ НА ОСНОВЕ ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЯ МИКРОБНОГО СИНТЕЗА

Черкасов В.Д., Ерастов В.В., Ушкина В.В.

*ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
им. Н.П. Огарёва», Саранск, e-mail: ntaevv@mail.ru*

Статья посвящена изучению возможности применения нового белкового пенообразователя в производстве пенобетонов. Показано, что при концентрации менее 0,45% добавка влияет на сроки схватывания незначительно, при концентрации 0,3% снижает нормальную плотность цементного теста с 0,27 до 0,25. Установлено влияние добавки на структурообразование цементных композитов. Подобраны составы пенобетонной плотностью 300, 500 и 700 кг/м³. Изучена кинетика набора прочности. Показано, что к 3-м суткам твердения пенобетон набирает 40–69% итоговой прочности, а к 7-м суткам – 67–83%. Определена марка морозостойкости, усадка пенобетонных. Показано, что они соответствуют требованиям ГОСТ. Установлены значения коэффициента теплопроводности. Водопоглощение составило 38% по массе. В структуре пенобетона преобладают замкнутые поры, их размеры однородны.

Ключевые слова: пенобетон, белковый пенообразователь, свойства, прочность на сжатие, морозостойкость, усадка, теплопроводность

FOAM CONCRETE BASED ON MICROBE SYNTHESIS FOAMING AGENT

Cherkasov V.D., Erastov V.V., Ushkina V.V.

National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk, e-mail: ntaevv@mail.ru

The article is devoted to studying the possibility of using the new protein foaming agent in the manufacture of foam concrete. It is shown that the additive at a concentration of less than 0,45% don't effect on the setting time significantly. The additive at a concentration of 0,3% lowers the normal density of cement paste with 0,27 to 0,25. The effect of additive on structure of cement composites was determined. Foam concrete density of 300, 500 and 700 kg/m³ composition were selected. Kinetics of curing is studied. It is shown that foam concrete gained 40–69% of the total strength by the 3rd day of hardening, and it gained 67–83% of the total strength by the 7th day of hardening. Frost-resistance mark and foam concrete shrinkage were determined. It has been shown that they comply with the requirements of GOST. Values of the thermal conductivity were established. Water absorption was 38% by weight. Closed pores dominate in the foam concrete structure, their sizes are uniform.

Keywords: foam concrete, the protein foaming agent, properties, compressive strength, frost resistance, shrinkage, thermal conductivity

Основной задачей при производстве пенобетона становится обеспечение необходимой прочности. Прочность пенобетона зависит от качества поровой структуры пенобетона, образующейся при твердении материала. Высокое качество пенообразователя (высокая кратность и стабильность в цементном растворе) позволяет добиться оптимальной поровой структуры пенобетона [5]. Увеличение длительности схватывания, связанное в том числе с использованием пенообразователя, приводит к снижению прочности материала из-за гашения пены. Поэтому актуальной задачей современного материаловедения становится поиск решений для ускорения процесса твердения или увеличения времени жизни пены в растворе. Первый подход к решению этой задачи реализуется за счет использования автоклавного твердения, пропарки при атмосферном давлении, увеличения активности вяжущего, использование тонкодисперсных и армирующих добавок, ускорителей твердения, снижения В/Т и т.д. [5, 6]. Однако по-

добные технологические решения приводят к удорожанию товарного пенобетона за счет энергетических затрат на помол и температурную обработку, увеличения сырьевой себестоимости материала. Второй подход основан на разработке новых пенообразующих добавок и исследовании их свойств. Целью исследования стала разработка пенобетонных на основе белкового пенообразователя, полученного микробным синтезом из послеспиртовой барды, и изучение свойств полученных материалов.

В качестве наполнителя использовали известняковую муку, пенообразователя – пенообразователь, приготовленный в соответствии с [3]. Изготовление образцов вели в соответствии с ГОСТ 22685–89. Определение сроков схватывания вяжущего и нормальной плотности цементного теста вели с использованием прибора Вика по ГОСТ 310.3–76. Предел прочности на сжатие образцов кубиков с размером ребра 100 мм измеряли в соответствии с ГОСТ 10180–90. Морозостойкость образцов определяли

по ГОСТ 10060.1–95. Определение теплопроводности образцов вели по ГОСТ 7076–99. Измерение водопоглощения образцов осуществляли в соответствии с ГОСТ 12730.3–78. Усадка образцов измерялась по ГОСТ 25485–89.

В работах [1, 2] показано, что мягкий мел и известняковая мука, выступая в качестве наполнителя, упрочняют структуру пенобетона. Между частицами наполнителя и цемента образуется контактная зона гидрокарбоалюминатов кальция, формирующая каркас, который упрочняется гидросиликатами и гидросульфалюминатами кальция. Однако при чрезмерном увеличении содержания наполнителя он снижает прочность межпоровых перегородок и осадка пеномассы в формах увеличивается. Была исследована осадка пеномассы для пенобетонов с плотностью 300, 500

и 700 кг/м³. Анализ данных показал, что она достигала минимальных значений при содержании наполнителя 30 % мас.

Главными факторами, предопределяющими прочность пенобетона, являются количество наполнителя (W_n) и время приготовления пеномассы (t). Для подбора составов пенобетонов плотностью 300, 500 и 700 кг/м³ и условий приготовления пеномассы были проведены исследования с применением метода математического планирования. Параметрами оптимизации стали средняя плотность, прочность материала на сжатие, осадка. Матрица планирования и рабочая матрица эксперимента представлены в табл. 1.

Анализ результатов эксперимента позволил определить условия получения пенобетона, обеспечивающие максимальную прочность (табл. 2).

Таблица 1

Матрица планирования и рабочая матрица эксперимента

$\rho_{\text{пенобетона}}, \text{ кг/м}^3$	Матрица планирования		Рабочая матрица		Свойства пенобетона			
	X_1	X_2	$W_n, \%$	$t, \text{ мин}$	$\rho, \text{ кг/м}^3$	Осадка, %	$R_{\text{сж}}, \text{ МПа}$	ККК
700	–	–	20	1,5	734	1,4	1,98	3,7
	–	0	20	3,0	735	1,1	2,15	4,0
	–	+	20	4,5	768	0,4	2,27	3,8
	0	–	30	1,5	714	0,6	1,65	3,2
	0	0	30	3,0	711	0,5	1,88	3,7
	0	+	30	4,5	727	0,1	2,03	3,8
	+	–	40	1,5	752	0,6	1,49	2,6
	+	0	40	3,0	773	0,3	1,79	3,0
500	+	+	40	4,5	795	0,1	2,41	3,8
	–	–	20	1,5	530	2,7	0,74	2,7
	–	0	20	3,0	519	1,5	0,72	2,7
	–	+	20	4,5	566	1,5	1,39	4,3
	0	–	30	1,5	515	1,7	0,69	2,6
	0	0	30	3,0	521	1,7	0,92	3,4
	0	+	30	4,5	534	1,5	0,87	3,0
	+	–	40	1,5	480	1,7	0,39	1,7
300	+	0	40	3,0	480	1,5	0,50	2,2
	+	+	40	4,5	493	1,2	0,61	2,5
	–	–	20	1,5	313	2,5	0,36	3,7
	–	0	20	3,0	315	2,0	0,30	3,1
	–	+	20	4,5	329	1,6	0,45	4,1
	0	–	30	1,5	322	2,3	0,24	2,3
	0	0	30	3,0	337	2,2	0,25	2,2
	0	+	30	4,5	350	1,7	0,32	2,6
+	–	40	1,5	309	2,8	0,19	2,0	
+	0	40	3,0	324	2,7	0,20	1,9	
+	+	40	4,5	355	2,4	0,25	2,0	

Таблица 2

Условия получения пенобетона

Плотность пенобетона, кг/м ³	Количество наполнителя, %	Время перемешивания, мин	Прочность на сжатие, МПа
300	20	4,5	0,5
500	20	4,5	1,4
700	20	3,0	2,3

Таблица 3

Состав для приготовления 1 м³ пенобетона

Материалы	Плотность пенобетона, кг/м ³		
	300	500	700
Цемент, кг	209	348	487
Известняковая мука, кг	52	87	122
Вода, кг	167	239	304
Гидролизат, л	12,0	10,1	8,3
Стабилизатор (раствор сульфата железа III 20%), л	0,9	0,8	0,6
Вода для приготовления пенообразователя, л	47,0	39,4	32,5

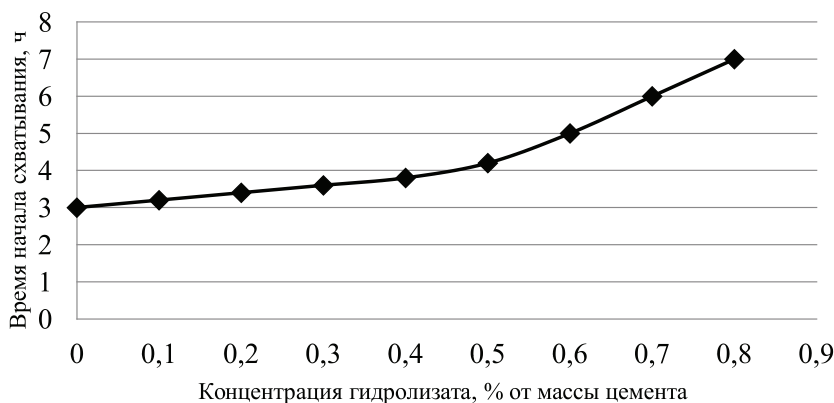


Рис. 1. Зависимость времени схватывания цемента от концентрации добавки

Составы пенобетонов с плотностью отражены в табл. 3.

Адсорбция пенообразователя на частицах цемента приводит к изменению сроков начала и конца схватывания. Как видно из рис. 1, при концентрации пенообразователя в растворе меньшей, чем 0,45%, влияние его на сроки схватывания незначительно.

Белковый пенообразователь обладает пластифицирующими свойствами, поэтому при его внесении в цементно-водную эмульсию в количестве 0,3% от массы цемента нормальная густота цементного теста снижается с 27 до 25%, т.к. происходит снижение водопотребности цемента.

Исследование прочности образцов цементного камня, полученных при одинаковом В/Т отношении, показало, что прочность образцов на 3-и сутки твердения снижается, однако при концентрации пеноо-

бразователя меньшей, чем 0,3% к 28 суткам прочность достигает таковой в контрольном испытании без использования добавки. Таким образом, белковый пенообразователь замедляет процессы гидратации и структурообразования.

Рентгеноструктурные исследования на рентгеновском дифрактометре «Дрон-6» с ионизационной регистрацией интенсивности рентгеновских лучей позволили установить структурные изменения, происходящие в цементных композитах с добавкой пенообразователя. Исследование производилось на 28 сутки твердения. Результаты показали, что интенсивность формирования новообразований в присутствии пенообразователя снижается, так как алит и белит меньше взаимодействуют с водой. Содержание силикатных фаз, обеспечивающих прочность, уменьшается с 43 до 31%.

Количество карбоната кальция увеличивается с 25 до 34%. Поэтому следует строго соблюдать режим дозирования пенообразователя.

Результаты исследования кинетики набора прочности приведены в табл. 4. К 3-м суткам достигает 40–69% итоговой прочности, а к 7-м суткам твердения – 67–83%. Пенобетон наиболее интенсивно набирает прочность в течение первых семи суток.

Были исследованы усадка, морозостойкость и теплопроводность образцов пенобетонов. Результаты отражены в табл. 5.

Определение водопоглощения проводили для образцов пенобетона плотностью 518 кг/м³. Максимального значения водопоглощения достигало в первые часы проведения опыта, затем его темпы снижались. Итоговое значение водопоглощения по массе составило 38%. Анализ пористости показал, что в пенобетоне преимущественно присутствуют замкнутые поры, и объем их составляет 55%. Это подтверждается микроснимками структуры пенобетона (рис. 2). Показатель однородности пор высокий.

Таблица 4

Кинетика набора прочности пенобетонов

Плотность пенобетона, кг/м ³	Прочность при сжатии в возрасте, МПа		
	3 сут	7 сут	28 сут
300	0,2	0,4	0,5
500	0,7	1,0	1,5
700	1,6	1,9	2,3

Таблица 5

Эксплуатационные характеристики пенобетонов плотностью 300, 500 и 700 кг/м³

	Плотность пенобетона, кг/м ³		
	300	500	700
Усадка, мм/м	2,9	2,2	1,1
Марка морозостойкости	F 15	F 25	F 35
Коэффициент теплопроводности, Вт/м·°С	0,083	0,103	0,155

Анализ характеристик пенобетонов показал, что для пенобетона плотностью 700 кг/м³ установлена марка морозостойкости F35, что соответствует требованиям ГОСТ 10060.1–95. Усадка разработанных пенобетонов отвечает нормам ГОСТ 25485–89. Максимальный рост усадочных деформаций произошел в первые 49 суток, после этого скорость высыхания значительно снизилась.

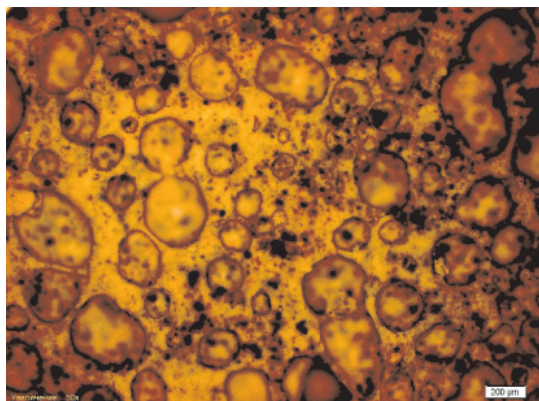


Рис. 2. Фотография образца пенобетона плотностью 518 кг/м³

Было осуществлено опытно-промышленное внедрение технологии производства пенобетона с использованием пенообразователя на предприятии ООО «Промстрой» г. Саранска. Была получена партия пенобетона с плотностью 710 кг/м³ и прочностью на сжатие 2,75 МПа.

Выводы

1. Для пенобетонов с плотностью 300, 500, 700 кг/м³ количество известняковой муки должно составлять 20% по массе. Максимальная прочность достигается при перемешивании пеномассы в течение 3–4,5 мин. Разработаны составы пенобетонов.

2. При концентрации гидролизата до 0,45% от массы цемента сроки схватывания практически не изменяются. Показано, что к 3-м суткам твердения пенобетон набирает 40–69% прочности, а к 7-м суткам – 67–83%.

3. С помощью рентгенофазного анализа установлено, что при гидратации силикатных составляющих цементного клинкера в присутствии протеинового пенообразователя алит и белит меньше взаимодействуют

с водой, а это приводит к более низкой интенсивности формирования новообразований.

4. Разработанные пенобетоны отвечают требованиям ГОСТ 10060.1–95 и ГОСТ 25485-89. Коэффициенты теплопроводности пенобетона плотностью 300, 500 и 700 кг/м³ соответственно равны 0,083, 0,103 и 0,155 Вт/м·°С. В пенобетонах преимущественно присутствуют замкнутые поры с однородными размерами.

Список литературы

1. Емельянов А.И. Разработка составов сухих смесей и технологии получения на их основе неавтоклавных пенобетонов: дис. ... канд. техн. наук (05.23.05). – Пенза, 2005. – 180 с.
2. Измалкова Е.В. Структурообразование и свойства мелопенобетона с одностадийной поризацией смеси в турбулентных смесителях: дис. ... канд. техн. наук (05.23.05). – Ростов-на-Дону, 2000. – 186 с.
3. Пат. 2597009 Российская Федерация, МПК, С04В 38/10. Белковый пенообразователь / Черкасов В.Д., Бузулуков В.И., Ушкина В.В.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва». – № 2015122946/03; заявл. 15.06.2015; опубл. 10.09.2016, Бюл. № 25 – 6 с.
4. Сахаров Г.П. Поробетону – современное производство и широкое применение в строительстве // Строи-

тельные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2005. – № 7. – С. 26–27.

5. Шахова Л.Д. Роль пенообразователей в технологии пенобетонов // Строительные материалы. – 2007. – № 4. – С. 16–19.

6. Шлегель И.Ф. Повышение эффективности производства пенобетонов неавтоклавного твердения / И.Ф. Шлегель, Г.Я. Шаевич, Л.А. Карабут, В.М. Бескорвайный // Строительные материалы. – 2008. – № 1. – С. 24–25.

References

1. Emeljanov A.I. Razrabotka sostavov suhix smesej i tehnologij poluchenija na ih osnove neavtoklavnyh penobetonov : dissertacija ... kand. tehn. nauk. Penza, 2005, 180 p.
2. Izmailkova E.V. Strukturoobrazovanie i svojstva melopobetonov s odnostadijnoj porizaciej smesi v turbulennyh smesiteljah : dissertacija. ... kand. tehn. nauk 05.23.05. Rostov-na-Donu, 2000, 186 p.
3. Pat. 2597009 Rossijskaja Federacija, MPK, C04B 38/10. Belkovyj penoobrazovatel / Cherkasov V.D., Buzulukov V.I., Ushkina V.V.; zjavitel i patentoobladatel Federalnoe gosudarstvennoe bjudzhetnoe obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego obrazovanija «Nacionalnyj issledovatel'skij Mordovskij gosudarstvennyj universitet im. N.P. Ogarjova». no. 2015122946/03; zjavl. 15.06.2015; opubl. 10.09.2016, Bjul. no. 25 6 p.
4. Saharov G.P. Porobetonu sovremennoe proizvodstvo i shirokoe primenenie v stroitelstve Stroitelnye materialy, oborudovanie, tehnologii XXI veka, 2005, no. 7, pp. 26–27.
5. Shahova L.D. Rol penoobrazovatelej v tehnologii penobetonov Stroitelnye materialy, 2007, no. 4, pp. 16–19.
6. Shlegel I.F., Shaevich G.Ja., Karabut L.A., Beskorvajnyj V.M. Povyshenie jeffektivnosti proizvodstva penobetonov neavtoklavnogo tverdenija Stroitelnye materialy, 2008, no. 1, pp. 24–25.