

НУРЛЫБАЕВ Р. Е., ГРИШЕНКОВ Д. И., ЛАВРЕНТЬЕВ О. В., КУПРИЯШКИНА Л. И.
ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВОВ ПЕНОБЕТОНОВ,
НАПОЛНЕННЫХ ДИАТОМИТАМИ

Аннотация. Изучена возможность получения пенобетонов с использованием в качестве наполнителя диатомитов Республики Мордовия. Показана технология получения теплоизоляционных материалов с введенными добавками. Проанализирована пористость структуры полученных образцов и выбран оптимальный состав с учетом теплоизоляционных характеристик ограждающих конструкций.

Ключевые слова: пенобетон, диатомит, наполнитель, пенообразователь, поровое пространство, структура, теплопроводность.

NURLIBAEV R. E., GRISHENKOV D. I., LAVRENTEV O. V., KUPRIYASHKINA L. I.
OPTIMIZATION OF FOAM CONCRETE COMPOSITION
BY USING DIATOMITE AS A FILLER

Abstract. The possibility of obtaining foam concretes by using the diatomites of Mordovia Republic as fillers is studied. The technology of production of thermal insulation materials with additives is shown. The authors analyze the porosity structure of the obtained samples and select the optimal composition, considering the characteristics of walling thermal insulation.

Keywords: foam concrete, diatomite, filler, foaming agent, pore volume, structure, thermal conductivity.

В течение многих лет во всем мире вопросам теплоизоляции ограждающих конструкций зданий, сооружений промышленного назначения и тепловых сетей, как наиболее эффективному пути сокращения теплотерь, уделяется пристальное внимание. В России вопросы теплосбережения в последние годы также вошли в ряд первоочередной важности. Изменение требований по теплоизоляции зданий в 2002 г. еще больше актуализировало проблему разработки, производства и применения энергосберегающих теплоизоляционных материалов.

Одним из распространенных теплоизоляционных ограждающих материалов является пенобетон. В качестве наполнителей при изготовлении пенобетонов возможно использование минерально-сырьевых ресурсов и отходов производства Республики Мордовия, что позволит снизить расход цемента и стоимость материала без ухудшения физико-механических свойств. При проведении исследований использовались: диатомит Атемарского месторождения, цеолитосодержащие породы Атяшевского месторождения,

отходы газобетонов (составы наполненных композиционных материалов приведены в табл. 1).

Повышенный интерес к пенобетонам потребовал создания нового типа пенообразователя с более высокими функциональными возможностями и на доступном сырье. В качестве последнего могут выступать вторичные продукты биохимической промышленности. В частности, остаются невостребованными мицелиальные отходы производства антибиотиков. Их утилизация дает возможность решить некоторые экологические проблемы основного производства.

Таблица 1.

Составы наполненных пенобетонов

№п/п	Составляющие элементы, г		Пеноконцентрат, г			Вода в растворе, г			Вода в пене, г		
	це-мент	напол-нитель	для диато-мита	для цео-лита	для газо-бето-на	для диато-мита	для цео-лита	для газо-бето-на	для диато-мита	для цео-лита	для газо-бето-на
1	300	90	5,0	4,0	3,5	190	173	170	180	140	123
2	300	135	5,0	4,0	3,5	233	209	203	180	140	123
3	300	180	5,0	4,0	3,5	276	245	237	180	140	123
4	300	90	5,5	4,5	4,0	172	155	153	198	158	140
5	300	135	5,5	4,5	4,0	215	191	186	198	158	140
6	300	180	5,5	4,5	4,0	258	226	220	198	158	140
7	300	90	6,0	5,0	4,5	154,5	138	135	216	175	158
8	300	135	6,0	5,0	4,5	197	174	168	216	175	158
9	300	180	6,0	5,0	4,5	240	210	202	216	175	158

Примечание. Во составах использовался портландцемент марки 400; отношение пеноконцентрата «Унипор» к воде в пене равно 1 : 35; водотвердое отношение (В/Т) для составов, наполненных диатомитом – 0,95; наполненных цеолитом – 0,80; наполненных отходами газобетонов – 0,75.

Одним из важных свойств пенообразователя, применяемого для производства ячеистых бетонов, является возможность получения устойчивой во времени пены, а, следовательно, смеси без осадки и расслоения. Ее стабилизация обычно достигается введением в раствор веществ, которые, увеличивая вязкость раствора и пленок, способствуют замедлению истечения жидкости из пены. Для получения экспериментальных образцов использовался пенообразователь «Унипор», выпущенный фирмой «Кунай» Кустанайской области. В отличие от пеноконцентрата «Биопор», он является неорганическим продуктом высокой концентрации.

В производственном процессе пену рекомендуется использовать сразу же при ее образовании, при тестовых (лабораторных) испытаниях нужно учитывать, что пена сохраняет свои свойства при нормальных условиях в течение 8–12 ч.

Для приготовления пенобетонной смеси рекомендуется применять портландцемент марок ПЦ 400-Д0, ПЦ 500-Д0. Тонкость помола цемента должна быть такой, чтобы масса остатка на сите № 008 при просеивании цемента была не более 15%. Оптимальная удельная поверхность цемента должна находиться в пределах 3200–3500 см²/г. Содержание воды в пористом бетоне складывается из расчетного количества, необходимого для затворения раствора, и воды, содержащейся в пене.

Перед добавлением пены водоцементное отношение раствора должно составлять минимум 0,35. Слишком низкое значение водоцементного отношения может явиться причиной получения изделия с более высокой, чем заданная, объемной плотностью. Это обусловлено тем, что цементное вяжущее во время процессов гидратации будет забирать часть воды из пены, вызывая ее частичное разрушение, т. е. снижение ее объема в пенобетонной смеси. Оптимальное соотношение В/Ц – в интервале от 0,40 до 0,45.

Предварительно пеноконцентрат разводится водой в пропорции 1 : 35÷40 в отдельной емкости. Материал, из которого изготовлена емкость, должен быть химически инертен. Емкость тщательно промывается. Сначала заливается вода, затем мерной кружкой добавляется необходимое количество пеноконцентрата и производится кратковременное перемешивание.

Объемный вес пены должен составлять от 75 до 85 г/л. Если пена будет слишком легкой, она будет плохо перемешиваться с бетонной смесью, если тяжелой – будет быстро терять устойчивость. Качественная пена характеризуется белым цветом и способностью удерживаться в перевернутом вверх дном ведре.

Рассмотрим пеноматериалы, полученные с использованием в качестве наполнителя диатомита, который имеет большую пористость и, соответственно, высокую водопотребность. Поэтому при наполнении им пенобетона происходила трансформация воды как в растворе, так и в пене, в порах диатомитовой породы. Большой забор воды из приготовленной пены ведет к разрушению пор пенистой структуры. Разрушаясь, поры становятся крупнее. Они уже имеют малую удерживающую способность, что сильно ухудшает устойчивость пены в целом. При изготовлении образцов при добавлении в приготовленную пену твердых составляющих происходила значительная осадка пеносостава. Для улучшения стабильности пены предлагается предварительно замачивать порошок диатомита.

Согласно результатам проведенного эксперимента, средняя плотность испытанных образцов варьировалась в пределах $540 \div 1096 \text{ кг/м}^3$, предел прочности при сжатии – $0,522 \div 2,400 \text{ МПа}$, средняя пористость – $37 \div 42\%$. По прочности и средней плотности полученные образцы относятся к конструкционно-теплоизоляционным материалам.

Для улучшения устойчивости пены в качестве добавок применяли жидкое стекло и клей ПВА. Твердение пенобетона осуществлялось в автоклаве. Автоклавирование велось по следующей технологической цепочке: подъем температуры ($173 \text{ }^\circ\text{C}$) и давления ($0,8 \div 0,9 \text{ МПа}$) в течение 1,5 ч; выдержка при постоянном давлении и температуре – 5 ч; снижение температуры и давления до 0 в течение 2 ч. Твердение в пропарочной камере осуществлялось, как и для основного эксперимента, по следующей схеме: подъем температуры до $90 \div 100 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 2 ч; выдержка при постоянной температуре в течение 8 ч; снижение температуры в течение 2 ч.

Для определения качества были проанализированы основные характеристики пенобетонов: объемная масса, пористость, теплопроводность, прочность и др. Известно, что пористость теплоизоляционных материалов может достигать $90 \div 98\%$. У пористых материалов передача тепла происходит как через стенки пор, так и через пузырьки воздуха, заключенные в порах. Поэтому материалы, имеющие большую пористость, обладают более низкой теплопроводностью. При равной пористости более высокими теплоизоляционными свойствами обладают материалы, имеющие мелкие замкнутые поры.

Предел прочности при сжатии зависит от средней плотности материала и нормируется. Минимальный класс бетона по прочности (В 0,5) соответствует средней плотности 400 кг/м^3 для неавтоклавного бетона и 300 кг/м^3 для автоклавного бетона. При меньших средних плотностях прочность не нормируется.

Для пористых структур очень важны параметры однородности, микропористости и закрытости пор [1]. Закрытость пор характеризуется объемом открытых пор W . Он изменяется в пределах от 0 до 100% от общего объема пор. При $W = 0$ все поры закрыты, что положительно сказывается на физико-механических свойствах материалов. Однородность пор характеризуется коэффициентом однородности α . Он изменяется в пределах от 0 до 1. При $\alpha \rightarrow 1$ монокапиллярность материала увеличивается, т. е. поры более однородны.

Представление о размерах пор нам дает коэффициент микропористости K_m , изменяющийся от 0 до 1. При $K_m = 0$ структура композита макропористая, и, наоборот, при $K_m = 1$ – микропористая.

Теплопроводность является главной характеристикой теплозащитных свойств материала, варьируясь при комнатной температуре в интервале $0,029 \div 0,18 \text{ Вт/(м}\cdot\text{}^\circ\text{C)}$.

Проведем анализ экспериментально полученных пеноматериалов (табл. 2, 3) [2]. При изготовлении экспериментальных образцов, наполненных диатомитом, было выявлено, что пористость (P) изменяется в пределах от 37 (состав № 3) до 72% (состав № 7). Предел прочности при сжатии колеблется в пределах от 0,522 (состав № 7) до 2,400 МПа (состав № 6). Состав № 3 имеет предел прочности при сжатии 2,351 МПа. Средняя плотность варьируется от 540 (состав № 7) до 1096 кг/м³ (состав № 3). Коэффициент однородности α находится в пределах от 0,077 (состав № 4) до 0,490 (состав № 1). Составы № 3, 7 и 6 имеют коэффициенты однородности, равные, соответственно, 0,191, 0,029 и 0,410. Коэффициент микропористости K_m варьируется в пределах от 0,006 (состав № 8) до 0,300 (составы № 7 и 2). Составы № 3 и 6 имеют коэффициенты микропористости равные 0,013 и 0,007. Максимальный объем открытых пор обнаружен у состава 4 (58,87%), минимальный – у состава № 1 (45,33%). У составов № 3, 7 и 6 объем открытых пор W_0 , равен 48,16; 58,70 и 48,04%.

Таблица 2.

План эксперимента модифицированных цементных композиций
с наполнителем из диатомита

№ опыта	Матрица планирования		Свойства композиций					
	X_1	X_2	$R_{сж}$, МПа	P , %	ρ , кг/м ³	α	K_m	W_0 , %
1	0	0	1,147	52	905	0,143	0,014	52,40
2	1	1	1,367	45	1000	0,213	0,021	46,79
3	-1	1	0,522	72	540	0,029	0,030	58,70
4	-1	-1	0,622	53	850	0,490	0,008	45,33
5	1	-1	2,351	37	1096	0,191	0,013	48,16
6	1	0	2,400	45	1027	0,410	0,007	48,04
7	0	1	1,839	49	920	0,296	0,006	49,11
8	-1	0	0,810	57	777	0,077	0,018	58,87
9	0	-1	0,908	50	930	0,089	0,030	57,08

Таблица 3.

Исследуемые факторы и уровни их варьирования

Исследуемые факторы	Уровни варьирования		
	1	0	-1
Степень наполнения от массы цемента, X_1 , %	60	45	30
Пеноконцентрат / цемент, X_2	1 : 50	1 : 54,5	1 : 60

Повышенную прочность состава № 6 (2,4 МПа) по сравнению с остальными при более низкой средней плотности можно объяснить более однородной макропористой структурой с

пониженным объемом открытых пор. Качественный теплоизоляционный материал должен иметь низкую плотность и высокую пористость, что соответствует экспериментальным образцам № 7 ($\rho = 540 \text{ кг/м}^3$, $P = 72\%$).

Анализ экспериментальных данных показал, что увеличение степени наполнения от 30 до 60% приводит к увеличению прочностных характеристик пеноматериалов. С увеличением количества пеноконцентрата до П/Ц = 1 : 50 (среднее П/Ц = 1 : 54,5) или с его уменьшением до П/Ц = 1 : 60 при постоянном отношении воды в пене, равном 1 : 36, происходит уменьшение показателя прочности.

Так как качественный теплоизоляционный материал должен обладать наименьшей плотностью, то, согласно планированию эксперимента, оптимальный состав выявлен при 30%-ом наполнении диатомитом и П/Ц = 1 : 50,4. Уменьшение или увеличение этих характеристик приводит к увеличению плотности материалов. Пористость же при наименьшем значении средней плотности будет максимальной. Для улучшенного качества пенобетонов необходимо добиваться высокого коэффициента микропористости и однородности пор. Наименьшему коэффициенту теплопроводности должно соответствовать большее количество замкнутых пор. Эксперимент не выявил большого разброса в значениях объемов открытых пор во всех образцах. Наибольшее значение соответствует $\approx 59\%$ (состав № 8). Таким образом, проанализировав все характеристики вышеприведенных композитов, выявлен оптимальный состав № 7, наполненный диатомитом.

На основании экспериментальных исследований и их анализа можно сделать вывод, что в качестве наполнителя наиболее целесообразно использовать диатомит. Полученные теплоизоляционные материалы рекомендуется применять в качестве конструкционных пенобетонов для ограждающих конструкций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шейкин А. Е., Чеховский А. Е., Бруссер М. И. Структура и свойства цементных бетонов. – М.: Стройиздат, 1979. – 344 с.
2. Куприяшкина Л. И. Наполненные цементные композиции. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2007. – 180 с.