

Е. В. Марчик, мл. науч. сотрудник; С. В. Плышевский, доцент; М. И. Кузьменков, профессор

ПОЛУЧЕНИЕ НЕАВТОКЛАВНОГО ПЕНОБЕТОНА НА ОСНОВЕ МАГНЕЗИАЛЬНОГО ЦЕМЕНТА

The influence of the technological factors on the main characteristic of foam concrete on the basis of caustic dolomite and magnesium chloride solution with using different foams was the purpose of the work. The influence of different technological factors on the process of the reception of foam concrete on the basis of caustic dolomite and magnesium chloride solution, the type and contents of foam, the velocity of the rotation of the mixer and duration mixing of foam concrete masses, the rotation of magnesium chloride solution and caustic dolomite was studied. The optimum for producing of foam concrete is the application of syntetic foam ПБ-2000 with contents 0,3–0,5% foam in solution; the velocity of the rotation of the mixer 800–900 turns/minutes, the duration mixing of foam concrete masses is 1,0–1,5 minutes; the rotation of magnesium chloride solution and caustic dolomite is 0,4–0,5.

Введение. Доломиты месторождения «Руба» (г. п. «Руба», Витебская обл.) являются одним из самых крупнотоннажных видов минерального сырья после калийных руд в Республике Беларусь, разведанные запасы которого составляют свыше 900 млн. т.

В настоящее время ОАО «Доломит» производит доломитовую муку и доломитовый щебень для строительства сельских дорог. Данная продукция является относительно недорогой и недостаточно востребованной, что негативно сказывается на экономическом положении предприятия.

В тоже время постоянный рост цен на углеводородное топливо, а следовательно, на энергоносители диктует необходимость изыскания и разработки менее энергоемких минеральных вяжущих, к числу которых относится магнезиальный цемент, получаемый из природного магнезита и доломита.

Свойства магнезиального цемента позволяют получать на его основе широкий спектр строительных материалов самого разнообразного назначения.

Зарубежный опыт, например, России, Украины, Китая, являющегося мировым лидером по производству портландцемента, свидетельствует о том, что изготовление магнезиальных цемента и широкого ассортимента изделий на их основе является эффективным и экономически перспективным. Подтверждением сказанного может служить опыт Китая, где на основе магнезиального цемента производится большой спектр строительных материалов (стекломагнезитовый лист, пустотные панели для межкомнатных перегородок, отделочные плиты, неавтоклавный пенобетон и др.).

В последнее время значительно возрос интерес к неавтоклавному пенобетону как к эффективному теплоизоляционному и конструкционно-теплоизоляционному материалу.

Сравнивая показатели свойств автоклавного бетона [1] (небольшая объемная масса – 200–500 кг/м³, достаточно высокая прочность на сжатие – 0,5–2,5 МПа, низкая теплопроводность – 0,08–0,11 Вт/(м·К), малая усадка при высыхании – не более 0,5 мм/м), следует отме-

тить его серьезный недостаток – относительно высокую энергоемкость. Поэтому неавтоклавные пенобетоны представляются привлекательными именно вследствие своей меньшей энергоемкости, которая может быть также значительно снижена при замене портландцемента на магнезиальные вяжущие. Бетоны, получаемые на их основе, имеют достаточно высокие технические характеристики, отличаются быстрым темпом набора прочности в естественных условиях, не требуют термовлажностной обработки. Кроме того, они отличаются способностью к армированию и наполнению древесными отходами, стекловолокном, а также волокнами растительного происхождения.

Предварительные расчеты тепловых затрат на получение магнезиального цемента из доломита показывают, что расход условного топлива на 1 т каустического доломита составит не более 100 к. у. т., что значительно ниже по сравнению с затратами на получение цементно-го клинкера – 190–210 к. у. т.

Вместе с тем неавтоклавный пенобетон, как на основе портландцемента, так и магнезиальных вяжущих, имеет более низкие физико-механические показатели по сравнению с автоклавным ячеистым бетоном.

Основная часть. Долгое время неавтоклавные пенобетоны получали исключительно на основе портландцемента. Однако вследствие его высокой энергоемкости перспективным становится замена портландцемента на магнезиальное вяжущее, в частности на каустический доломит, который по своим основным свойствам не уступает портландцементу (см. таблицу).

Целью настоящей работы являлось получение неавтоклавного пенобетона на каустическом доломите, затворяемом раствором сульфата магния, и изучение влияния технологических факторов на его основные свойства.

При разработке состава пенобетона в качестве ближайшего аналога был взят пенобетон, в состав которого входят следующие компоненты: портландцемент, кремнеземистый компонент, вода, пенообразователь.

Сравнительная характеристика основных физико-механических свойств цементов

Наименование	Магнезиальный цемент М500	Портландцемент М500
1. Прирост прочности на сжатие образцов, % от марочной прочности в возрасте:		
3 сут	50–60	40–50
7 сут	70–80	60–70
14 сут	100	80–90
2. Сроки схватывания:		
начало, не ранее, мин	30	45
конец, не позднее, ч	8	10
3. Коэффициент водостойкости, не менее	0,8–1,1 (с добавками)	1,0

Как следует из литературных данных [2], на свойства пенобетона влияет ряд факторов: свойства вяжущего, применяемого для изготовления пенобетона, вид пенообразователя, его содержание, количество затворителя, скорость перемешивания пенобетонной смеси, время перемешивания и др.

В настоящее время каждый производитель экспериментальным путем подбирает вид пенообразователя для получения пенобетона с оптимальными свойствами. Поэтому в технической литературе можно встретить различные рекомендации по применению того или иного вида пенообразователя.

Для получения неавтоклавных пенобетонов необходимо использовать пенообразователи, позволяющие получать пену, пленки которой не разрушались бы в процессе изготовления пенобетонной массы. Кроме того, пена должна обладать достаточной устойчивостью, пенообразователь не должен оказывать вредного влияния на сроки схватывания и твердения вяжущего [3].

В качестве пенообразователей в работе использовались синтетические пенообразователи «ПБ-2000», «Унипор», «Пионер».

На основании проведенных исследований установлено, что «ПБ-2000» обладает более высокой устойчивостью при контакте с цементной массой, поэтому в дальнейших исследованиях применялся пенообразователь «ПБ-2000».

Рабочий раствор пены получали смешением концентрата пенообразователя с водой.

В качестве затворителя использовали раствор сульфата магния плотностью 1280 кг/м³, полученный при сернокислотном разложении доломитовой муки.

Пенобетон получали путем отдельного приготовления пены и цементного теста с последующим их перемешиванием. Полученную пенобетонную массу заливали в разъемные металлические формы, внутренние поверхности которых смазывались трансформаторным маслом. Лабораторные образцы выдерживались в формах в течение 24 ч, после чего проводили распалубку. Окончательное твердение изделий проходило на воздухе при температуре 18–20°С.

Зависимость свойств неавтоклавного пенобетона от содержания пенообразователя приведена на рис. 1.

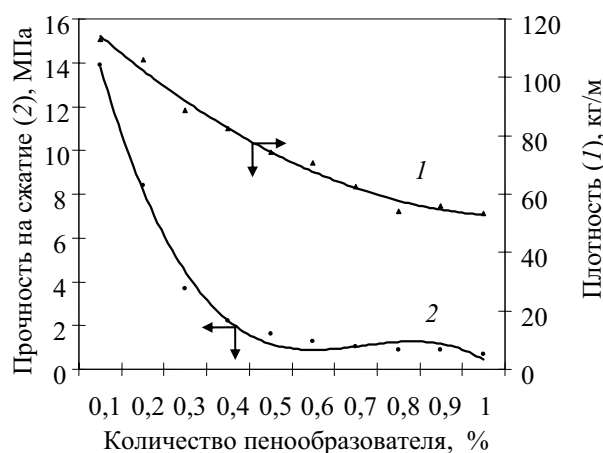


Рис. 1. Влияние количества пенообразователя на свойства пенобетона

Как видно из графика, добавление менее 0,2% концентрата пенообразователя не дает желаемых результатов по плотности, а повышенная концентрация (свыше 0,7%) также ухудшает процесс поризации, снижая одновременно его экономическую эффективность. Избыток пенообразователя замедляет процесс формирования структуры пенобетона из-за избыточного содержания в пенобетонной смеси воды, которая увеличивает расстояние между частицами твердой фазы. Это приводит к уменьшению сил сцепления и, следовательно, к снижению прочности пенобетона [4]. Поэтому оптимальным было принято введение 0,3–0,5% концентрата пенообразователя.

Влияние интенсивности перемешивания пенобетонной массы на свойства пенобетона показано на рис. 2. Для описания процесса использовали модифицированный критерий Рейнольдса (Re_m). При проведении эксперимента варьировали частотой вращения вала мешалки пропеллерного типа в диапазоне от 700 ($Re_m = 80\ 500$) до 1300 об/мин ($Re_m = 149\ 500$).

Установлено, что при интенсивности перемешивания свыше 1100 об/мин ($Re_m = 126\ 500$) пенобетонная масса быстро увеличивается

в объеме с образованием на поверхности смеси воронки. Причем получается пенобетон с порами разного диаметра, что негативно сказывается на его свойствах.

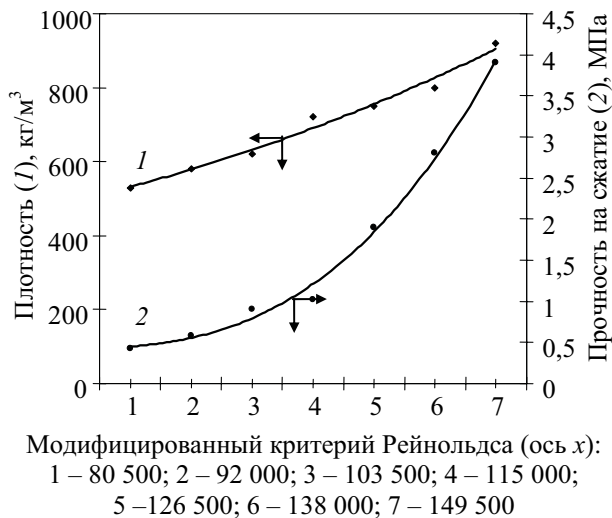


Рис. 2. Зависимость свойств пенобетона от скорости перемешивания пенобетонной массы

Оптимальным принято считать перемешивание при скорости вращения вала мешалки 800–900 об/мин ($Re_m = 92\,000\text{--}103\,500$).

Время перемешивания пенобетонной массы также оказывает существенное влияние на свойства получаемого бетона (рис. 3).

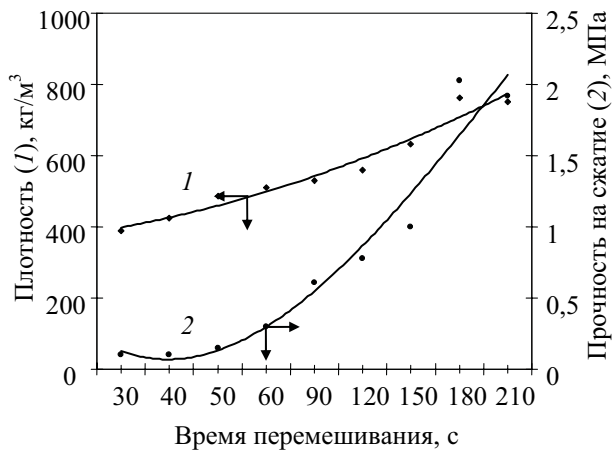


Рис. 3. Влияние времени перемешивания пенобетонной массы на свойства пенобетона

В процессе перемешивания активная поризация массы наблюдается лишь в первые 40–60 с, затем происходит постепенное прекращение роста объема массы. По-видимому, это связано с тем, что с увеличением времени перемешивания происходит разрушение крупных пор с образованием более мелких.

Твердые частицы магнезиального цемента прилипают к оболочкам пены благодаря неполному смачиванию их на поверхности раздела «вода – воздух». Воздушные пузырьки пены

превращаются в изолированные ячейки, стенки которых образованы из частиц раствора пенообразователя, цемента и затворителя. При недостаточном времени перемешивания уменьшается количество вовлеченного воздуха. Оптимальным принято перемешивание пенобетонной массы в течение 1,0–1,5 мин.

Количество затворителя (Ж/Т отношение) влияет на структуру пенобетонной массы, которая в свою очередь оказывает значительное влияние на прочность ячеистого бетона. Поэтому далее было исследовано влияние жидкотвердого отношения (Ж/Т) на свойства пенобетона (рис. 4).

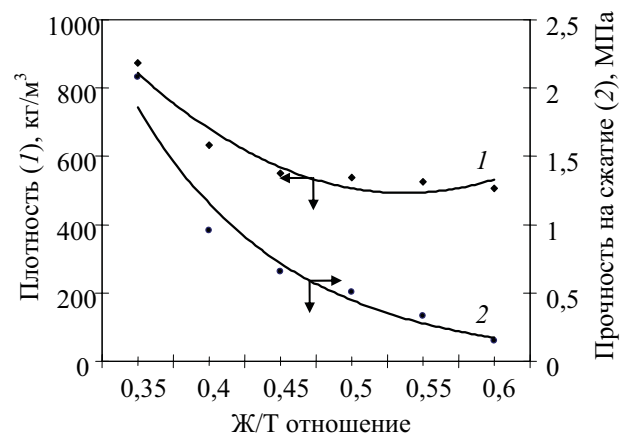


Рис. 4. Влияние Ж/Т отношения на свойства пенобетона

Было установлено, что при Ж/Т отношении меньше 0,35 происходит увеличение прочности пенобетона, однако при этом ухудшаются технологические параметры массы, в частности удобоукладываемость, а также возрастает плотность. При повышении Ж/Т отношения более 0,7 происходит расслаивание и усадка пенобетонной массы, увеличивается размер пор, и, соответственно, уменьшается толщина межпоровых перегородок, что приводит к потере прочности пенобетона. Избыточное количество воды, раздвигая частицы цемента, ослабляет связи между ними в структуре цементного камня. После твердения и постепенного расходования воды на процессы гидратации в цементном камне остаются пустоты, каналы и отдельные замкнутые поры. Образование пустот продолжается и в результате высыхания пенобетона. Этим объясняется уменьшение прочности пенобетона по мере увеличения количества затворителя.

Оптимальным Ж/Т отношением принято 0,4–0,5. При этом получен пенобетон со следующими свойствами: плотность – 500–520 кг/м³, прочность на сжатие в 7-суточном возрасте составляет 0,45–0,47 МПа, что несколько больше, чем у цементного пенобетона такой же плотности (0,38–0,40 МПа).

Также изучена кинетика набора прочности пенобетона (рис. 5).

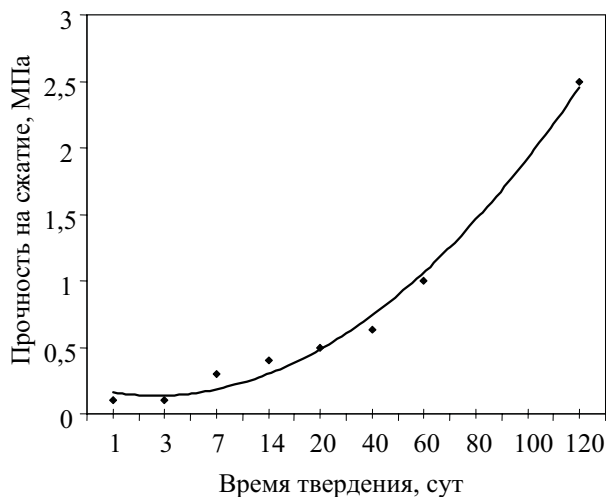


Рис. 5. Кинетика набора прочности пенобетона

Из графика видно, что пенобетон довольно медленно набирает прочность. Через 28 сут твердения прочность пенобетона составляет 60–65% от окончательной прочности (прочность пенобетона марки D500 в возрасте 28 сут – 0,70 МПа, в возрасте 180 сут – 2,5 МПа). Поэтому он требует применения ускорителей твердения.

Медленный темп набора прочности пенобетона на магниальном вяжущем, по-видимому, связан с влиянием поверхностно-активного вещества, содержащегося в пенообразователе, которое блокирует процесс гидратации и замедляет твердение.

Заключение. В результате проведенных исследований изучено влияние различных технологических факторов на процесс получения пенобетона на основе каустического доломита

и затворителя сульфата магния, вида и содержания пенообразователя, скорости вращения мешалки и длительности перемешивания пенобетонной массы, отношения затворителя и каустического доломита.

Установлено, что оптимальным для изготовления пенобетона является применение синтетического пенообразователя «ПБ-2000» с содержанием в рабочем растворе пены 0,3–0,5%. Скорость вращения мешалки – 800–900 об/мин; длительность перемешивания пенобетонной массы – 1,0–1,5 мин; отношение затворителя к каустическому доломиту – 0,4–0,5.

Поскольку неавтоклавный пенобетон довольно медленно набирает прочность, для ускорения данного процесса требуется применение ускорителей твердения, что является целью дальнейших исследований.

Образцы пенобетона, изготовленные при оптимальных условиях, имеют следующие физико-технические показатели: средняя плотность – 500 кг/м³, прочность на сжатие – 0,7–2,5 МПа.

Литература

1. Газобетон – пенобетон. Чему отдать предпочтение? // Строительный рынок. – 2006. – № 9–10. – С. 73–75.
2. Майзель, И. А. Технология теплоизоляционных материалов / И. А. Майзель, В. Г. Сандлер. – М.: Высш. шк., 1988. – 245 с.
3. Шахова, Л. Д. Роль пенообразователей в технологии пенобетона / Л. Д. Шахова // Строительные материалы. – 2007. – № 4. – С. 16–19.
4. Моргун, Л. В. Научные принципы агрегативной устойчивости пенобетонных смесей / Л. В. Моргун // Технологии бетонов. – 2008. – № 1. – С. 26–27.