

ОЦЕНКА СОРБЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ

Канд. техн. наук БАБИЦКИЙ В. В.

Белорусский национальный технический университет

Влажность цементного камня, а следовательно, и бетона играет исключительную роль во многих процессах, происходящих в период эксплуатации бетонных и железобетонных конструкций. Общеизвестна, например, зависимость теплофизических характеристик ограждающих конструкций от относительной влажности воздуха в помещении. Не менее важны влажностные параметры бетона и с точки зрения коррозионной стойкости железобетона [1]. Скорость карбонизации бетона имеет достаточно сложную экстремальную зависимость от относительной влажности воздуха в помещении. Еще более отчетливо видно нарастающее влияние влажности материала на скорость накопления агрессивных хлор-ионов в приарматурной зоне бетона. В последнее время появились работы [2], в которых отмечается, что коррозионное разрушение бетона может происходить и без агрессивного воздействия сред, но при эксплуатации конструкций в условиях переменной влажности она вызывает капиллярные усадочные деформации бетона с постепенной его деградацией.

Все это свидетельствует о необходимости разработки четкого механизма прогнозирования влажностных характеристик бетона в зависимости от параметров эксплуатационной среды. Величина сорбционной влажности бетона находится в весьма сложной зависимости как от относительной влажности воздуха, так и от особенностей внутренней поверхности капиллярно-пористого пространства материала (рис. 1 [3]).

Конфигурация изотерм сорбции в первую очередь определяется структурными особенностями цементного камня, в связи с чем было бы заманчиво связать их в единой математической модели. Подобные модели в бетоноведении существуют. Так, С. В. Александровский предложил упростить сорбционную кривую, сведя

ее к прямой. Недостатком этого упрощения является не столько игнорирование неравномерного влияния относительной влажности воздуха, сколько отсутствие учета структурных особенностей бетона. И. Б. Заседателев привел модель к более реальной, сведя кривую к двум прямым, по-разному описывающим процесс при изменении относительной влажности воздуха от 0 до 80 % и выше. В качестве влияющих факторов взяты относительная влажность воздуха и водоцементное отношение бетонной смеси. Во многих технологических расчетах фигурирует такой фактор, как водоцементное отношение, выступающий в качестве косвенной характеристики последующих структурных особенностей бетона. Хотя И. Б. Заседателев и отмечает, что модель вполне корректная, поскольку расхождения между расчетными и экспериментальными данными не превышали 5 %, можно уверенно предположить, что ввиду своей однофакторности она не может быть распространена на всю гамму возможных структур бетона.

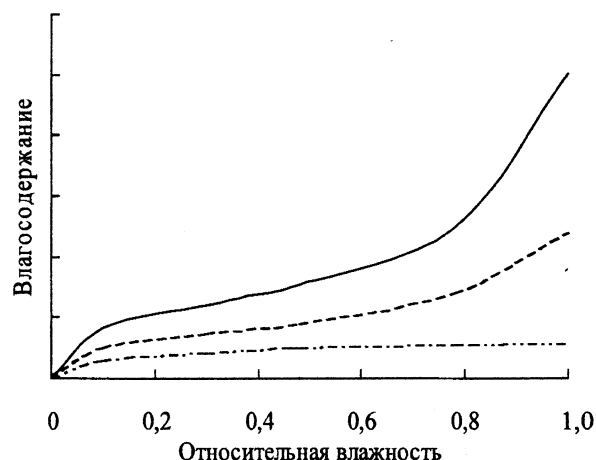


Рис. 1. Зависимость сорбционной влажности материала от свойств его поверхности и относительной влажности воздуха: — — гидрофильная; — — — — промежуточная; — · — · — гидрофобная поверхности

На наш взгляд, необходимо повысить точность оценки сорбционной способности цементного камня, отказавшись от упрощающего приведения изотерм сорбции к последовательным линейным моделям. Компьютерный анализ экспериментально полученных, а также представленных в литературе изотерм сорбции показал, что изменение массы сорбируемой влаги (в % от массы исходного сухого цементного камня) можно описать единой универсальной аналитической зависимостью, которая в общем виде может быть записана как функция относительной влажности воздуха и ряда коэффициентов

$$U_m = a\varphi^n e^{b\varphi} + c\varphi^m. \quad (1)$$

Относительную влажность воздуха φ в (1) следует брать в долях единицы. Коэффициенты a , b , c и показатели степени n , m зависят от структурных особенностей материала. Рассмотрим количественно и графически проинтерпретируем влияющие факторы в (1). На рис. 2 представлены различные варианты варьирования факторов. Нетрудно убедиться в универсальности зависимости (1): с ее помощью можно имитировать практически любое гигроскопическое состояние материала.

Для того чтобы привести (1) к виду, пригодному для практической реализации, необходимо связать количественные значения коэффициентов со структурными особенностями цементного камня. Логичнее всего было бы ввести в (1) определяющий интегрированный фактор – удельную поверхность материала. К сожалению, на современной стадии развития технологии бетона увязать удельную поверхность цементного камня с такими основополагающими технологическими факторами, как водоцементное отношение (В/Ц) (изначально характеризует возможные структурные особенности материала) и степень гидратации цемента (определяет текущую структуру цементного камня), не представляется возможным. В то же время в бетоноведении широко используются понятия гелевой, капиллярной и общей пористости, вполне достоверно характеризующие структурные особенности цементного камня и бетона. Эти виды пористости легко рассчитываются по общеизвестным формулам как функция степени гидратации цемента и начального водоцементного отношения цементного теста. Но при этом следует учесть и так называемую закрытую (или резервную) пористость, т. е. в

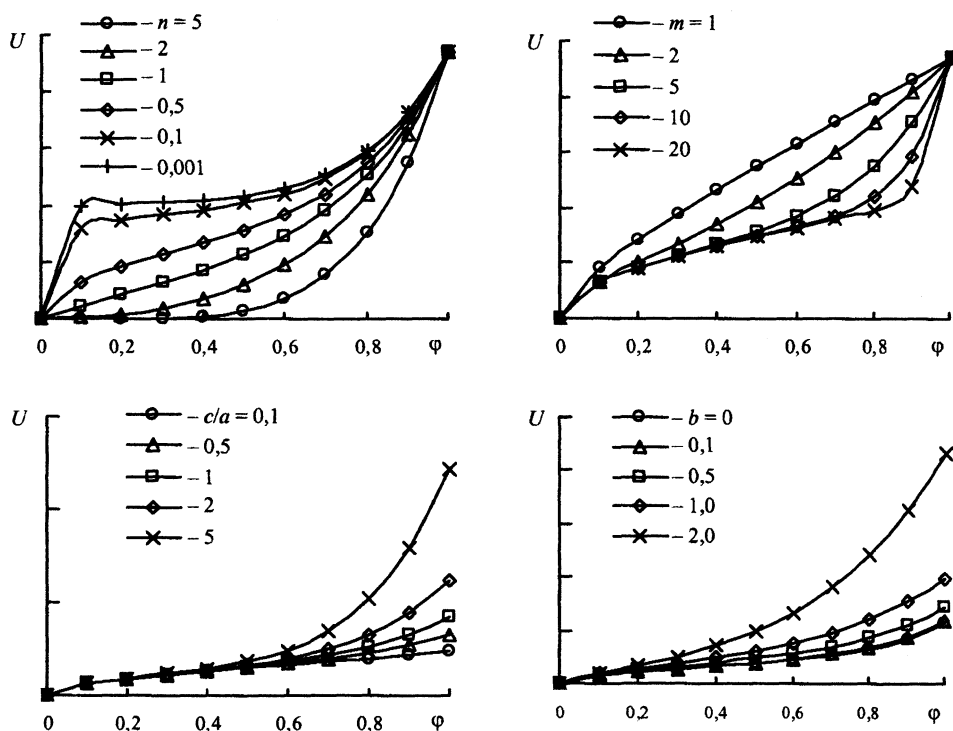


Рис. 2. Влияние количественных параметров (1) на конфигурацию изотермы сорбции цементного камня от относительной влажности воздуха

которую при обычных условиях влага не проникает и для заполнения которой необходимы специальные приемы – создание избыточного давления, вакуумирование, кипячение. Исследование цементного камня в широкой области водоцементных отношений (относительное водосодержание цементного теста X изменялось от 0,45 до 1,65) показало, что закрытая пористость (P_3 , %) возрастает по мере снижения начального водосодержания (рис. 3) и может быть рассчитана следующим образом:

$$P_3 = \frac{1,5}{(X + 0,3)^2} \quad (2)$$

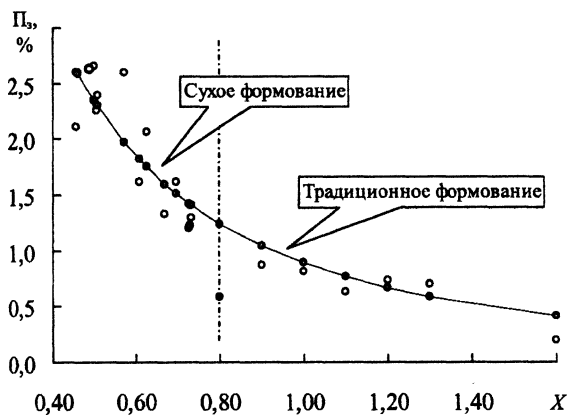


Рис. 3. Зависимость закрытой пористости цементного камня P_3 от относительного водосодержания цементного теста X : $\circ$ – фактическая; $\bullet$ – расчетная закрытая пористость

В области низких значений относительной влажности воздуха (от 0 до 0,3) решающую роль в сорбционных процессах играет гелевая пористость цементного камня. При возрастании ϕ от 0,3 до 0,8 поры геля полностью (за исключением закрытой пористости) заполняются водой, а капиллярные – частично. А при значениях относительной влажности воздуха свыше 0,8 влагой заполняется уже все капиллярное пространство. Анализ экспериментально полученных (по стандартным методикам посредством выдерживания гранул цементного камня в эксикаторах над насыщенными растворами различных солей) изотерм сорбции показал, что, реализуя рассмотренный механизм сорбции, выражение (1) можно связать с особенностями капиллярно-пористого строения цементного камня следующим образом:

$$U_0 = (P_r - P_3) \phi^{0,02 \cdot P_r} e^{0,1 \cdot \phi} + P_3 \phi^5 \quad (3)$$

Количество сорбируемой влаги (U_0 , %) в (3) приведено не к исходной массе цементного камня, как это традиционно принято, а к его объему, что, на наш взгляд, позволяет удачнее сопоставлять сорбционные характеристики различных материалов и удобнее при последующей реализации полученной модели в прогнозировании коррозионных процессов.

Сопоставим рассчитываемые значения с имеющимися в литературе. В [4] приведены изотермы сорбции цементного камня с водоцементным отношением от 0,3 до 0,7, что полностью перекрывает традиционный диапазон водосодержания цементного теста. Фактические и рассчитанные по (3) сорбционные кривые представлены на рис. 4. В табл. 1 приведен статистический анализ отклонений расчетных значений сорбции цементного камня от приведенных в [4].

Таблица 1

Свойства	Значения при водоцементном отношении				
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
Среднее квадратичное отклонение S , %	1,19	2,02	1,53	1,06	1,84
Коэффициент вариации V , %	8,28	12,09	8,63	6,22	10,82

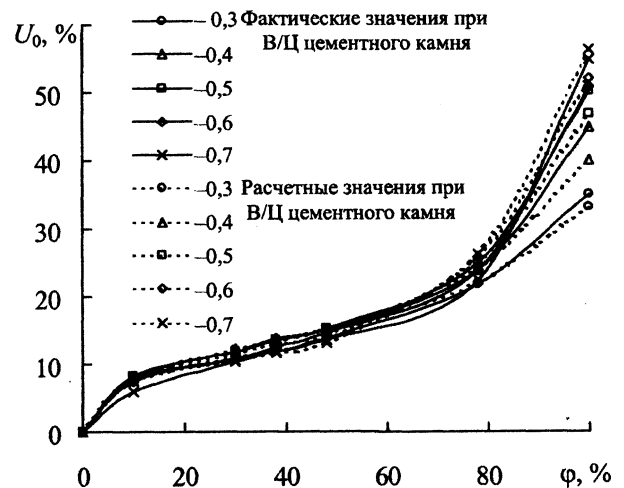


Рис. 4. Влияние относительной влажности воздуха на сорбционную влажность цементного камня

Полученные данные свидетельствуют о вполне приемлемой достоверности прогнозируемых значений влагосодержания цементного камня для широкой гаммы водоцементных отношений.

ВЫВОД

Получена математическая модель для оценки влажностного состояния цементного камня, позволяющая прогнозировать теплофизические и коррозионные параметры бетонных и железобетонных конструкций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Долговечность железобетона в агрессивных средах / С. Н. Алексеев, Ф. М. Иванов, С. Модры, П. Шисль. – М.: Стройиздат, 1990. – 320 с.

2. Гидротермическое воздействие на цилиндрические стенки железобетонных силосов / В. И. Никитин, В. М. Ракецкий, А. Лапко, И. А. Прусел // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке кадров Республики Беларусь: Сб. тр. VII Междунар. науч.-метод. семинара / Под ред. Н. П. Блещика, А. А. Борисевича, Т. М. Пецоляда. – Брест, БГТУ, 2001. – 550 с.

3. Лыков А. В. Тепломассообмен: Справ. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергия, 1978. – 480 с.

4. Красильников К. Г., Никитина Л. В., Скоблинская Н. Н. Физикохимия собственных деформаций цементного камня. – М.: Стройиздат, 1980. – 256 с.

УДК 624.012.4.35

СВОЙСТВА БЕТОНОВ НА ЗАПОЛНИТЕЛЕ ИЗ ОСАДОЧНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

ПОЛЕЙКО Н. Л., канд. техн. наук КОВШАР С. Н., ОСОС Р. Ф., инж. ПОЛЕЙКО Д. Н.

Белорусский национальный технический университет

Разносторонние требования к эксплуатационным качествам, области применения и физико-техническим свойствам бетонов, требованиям долговечности, а также к работе предприятий строительной индустрии в рыночных условиях расширяют область экономического использования различных видов заполнителей.

Если учесть, что заполнители занимают в бетоне до 80 % объема и их стоимость достигает 50 % стоимости бетонных и железобетонных конструкций, то становится понятным, почему изучение, правильный выбор заполнителей и их рациональное применение влияют на свойства бетонной смеси, бетонных и железобетонных конструкций, а также на технико-экономическую эффективность производства строительных изделий из сборного и монолитного бетона и железобетона в целом.

В настоящее время в Беларуси в качестве крупного заполнителя для приготовления тяжелого бетона используют гранитный щебень, щебень из гравия и гравий. Гранитный щебень относится к глубинным изверженным горным породам, гравий и щебень из гравия – к осадочным.

В данной статье рассматриваются результаты испытаний тяжелых бетонов на крупном заполнителе из осадочной горной породы – известняке. Флюсовый известняковый щебень – вторичный продукт в металлургической промышленности, в частности на РУП «Белорусский металлургический завод». В технологии металлургического производства для выплавки стали применяют флюсовый известняк (известняковый щебень) фракции 5 мм и ниже. Вторичный продукт – щебень, который характеризуется содержанием зерен от 5 до 40 мм, причем количество крупных фракций существенно превосходит количество мелких. Флюсовый известняк выпускают в соответствии с требованиями [1]. Химический состав и процентное содержание основных соединений представлены в табл. 1.

Как свидетельствуют данные, приведенные в табл. 1, флюсовый известняк представляет собой материал осадочного происхождения, состоящий преимущественно из оксидов кальция и магния. Согласно требованиям [2], в качестве заполнителей для приготовления тяжелых бетонов могут применяться материалы из