

ПРИМЕНЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПЕРЕНОСА ВЛАГИ ДЛЯ ОЦЕНКИ МОРОЗОСТОЙКОСТИ БЕТОНА

С.Н.Ковшар

Факультет дорожного строительства, БГПА

г. Минск, Беларусь

Рассмотрена возможность применения коэффициентов переноса для оценки морозостойкости бетонов. Приведены результаты по определению коэффициентов переноса. Предложена расчетная формула для оценки морозостойкости бетона.

Ключевые слова: коэффициент диффузии влаги, термоградиентный коэффициент, морозостойкость.

Проблеме прогнозирования морозостойкости бетона посвящено много работ и в большинстве из них эта проблема рассматривается с позиции определяющего значения структуры бетона [1,2,3,4]. Предложены различные расчетные формулы для оценки морозостойкости бетонов [4]. В большинстве из них морозостойкость бетона определяется только, как функция пористости. Однако следует отметить, что для оценки стойкости бетона при попеременном замораживании и оттаивании необходимы сведения не только о параметрах поровой структуры, но и о прочностных свойствах материала. Этому недостатка лишена формула, предложенная в работе [6]:

$$F = K \cdot R_{сж} / U \quad (1)$$

где: K - коэффициент пропорциональности;

$R_{сж}$ - прочность при сжатии бетонного образца;

U - количество испаряющейся влаги из материала за промежутки времени, отнесенное к условному зеркалу испарения.

Величина U , входящая в формулу (1), характеризует капиллярно-пористую структуру материала и определяется из кривой сушки (начальная скорость высушивания предварительно водонасыщенных образцов). Однако

этот метод оценки капиллярно-пористой структуры материала не нашел широкого применения в лабораториях, поскольку сложен и не обладает достаточной точностью.

Проанализировав существующие в настоящее время методики оценки капиллярно-пористой структуры бетона, автор пришел к выводу, что для оценки стойкости бетона при действии отрицательных температур, наиболее перспективным представляется использование коэффициентов переноса вещества, поскольку они характеризуют не только параметры структуры материала, но и позволяют оценить влияние процессов миграции влаги при действии знакопеременных температур на морозостойкость, т.е. описать причинный уровень разрушения бетона при замораживании.

Перенос массы вещества в процессе увлажнения бетона и действие знакопеременных температур можно характеризовать коэффициентом диффузии влаги (a_m) и относительным коэффициентом термодиффузии влаги (δ). Указанные коэффициенты характеризуют капиллярно-пористую структуру цементного камня и бетона, поскольку зависят от величины пористости и функции распределения пор по радиусам. Коэффициент диффузии влаги, определяемый экспериментально, характеризует перенос влаги под влиянием молекулярной диффузии и капиллярных сил.

Термоградиентный коэффициент показывает какой, градиент влажности создастся в материале при градиенте температуры $1^\circ\text{C}/\text{см}$. Данный коэффициент характеризует собой перенос влаги, вызванный перепадом температур между внутренними слоями и наружной поверхностью бетонного образца в начальный период замораживания. Движение жидкости вызванное перепадом температуры, происходит, как по микро-, так и по макрокапиллярам.

В общем случае закон миграции влаги в капиллярно-пористых телах [5] выражается следующим уравнением:

$$j = -a_m \cdot \gamma_0 \cdot \nabla U - a_m \cdot \gamma_0 \cdot \delta \cdot \nabla t \quad (2)$$

где: γ_0 - плотность абсолютно сухого материала;

∇U и ∇t - соответственно градиент влагосодержания и температуры на поверхности тела.

При большом температурном градиенте преобладает фактор термовлагопроводности и, наоборот, при малом температурном градиенте - фактор влагопроводности.

Морозостойкости бетона определялась согласно ГОСТ 10060.1-95 на образцах-кубах с ребром 10 см. Составы бетонных смесей для проведения исследований зависели от трех переменных: водоцементного отношения, расхода цемента, соотношения между растворной частью и крупным заполнителем в бетонной смеси. Составы бетонных смесей и их морозостойкость приведены в таблице 1.

Таблица 1

Номер состава	Расход составляющих, кг на 1 м ³ бетонной смеси				Марка по МРЗ
	цемент	песок	щебень	В/Ц	
1	300	820	1215	0,45	100
2	300	830	1232	0,375	150
3	400	1092	928	0,45	200
4	400	636	1183	0,45	250

Для приготовления бетонных смесей использовали портландцемент ПЦ-500-Д20 Волковьского завода, песок с $M_k = 2,5$ Заславльського карьера и гранитный щебень фракция 5-20 мм ГП «Гранит» г.п. Микашевичи.

Определение коэффициента диффузии влаги производилось по методике, разработанной автором. Предлагаемый метод определения коэффициента диффузии влаги основан на представлениях о зависимости электропроводности капиллярно-пористого тела от его «сквозной пористости». Данный метод позволяет значительно сократить продолжительность испытаний и трудоемкость работ.

Термоградиентный коэффициент определяли по методике [5], основанной на закономерностях температурного поля в квазистационарном состоянии, и в предположении, независимости коэффициента от влажности материала. Параллельно были проведены испытания по определению структурных характеристик методом кинетики водонасыщения ГОСТ 12730.4-76. Результаты испытаний представлены в таблице 2.

Таблица 2

Номер состава	$W_{в},$ %	$W_{о},$ %	$\rho_{ср},$ кг/м ³	λ	α	$a_m \cdot 10^{-4},$ м ² /ч	$\delta \cdot 10^{-2},$ 1/град
1	7,6	17,8	2350	1,10	0,5	9,9	0,61
2	6,8	16,3	2410	1,05	0,35	7,6	0,45
3	5,4	12,9	2390	0,90	0,8	6,7	0,43
4	4,9	11,9	2430	0,70	0,45	6,2	0,35

На основании проведенных исследований, а также на основе обобщения экспериментальных данных по результатам испытаний 10 серий образцов, твердевших в различных условиях, из бетонных смесей с различным минералогическим составом цемента, зерновым составом мелкого и крупного заполнителя, объемом вовлеченного воздуха автором была предложена следующая уточненная зависимость (1) для оценки морозостойкости бетона, выраженной в стандартных циклах замораживания и оттаивания:

$$F = K_1 \cdot 10^{-12} \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot R_{сж} / a_m \cdot (1 + \delta) \quad (3)$$

где: K_1 - коэффициент, зависящий от размеров образца и от свойств насыщающей жидкости (для образцов-кубов с ребром 10 см $K_1=50$);

K_2 - коэффициент, зависящий от минералогического состава и характеристик применяемого цемента (для портландцемента Волковьского завода ПЦ-500-Д20 $K_2=1,1$);

K_3 - коэффициент, зависящий от количества вовлеченного воздуха (для состава без воздухововлекающих добавок $K_3=1,0$);

Для уточнения применимости предложенной зависимости (3), в лабораторных условиях были проведены испытания по оценке морозостойкости бетонов для вибропрессованных тротуарных плит и дорожного бордюра. Как показали результаты испытаний на морозостойкость, среднее отклонение результатов, полученных по формуле (3) от фактической морозостойкости, составило 11 %. Следует отметить, что хорошее совпадение формула (3) дает на составах, изготовленных из бетонных смесей уплотняемых вибрацией, т.е. где исключается образование направленной пористости бетона.

В заключении следует отметить следующее, определение коэффициентов переноса вещества, поглощенного капиллярно-пористым телом, каким является бетон, представляет интерес не только с точки зрения оценки морозостойкости бетона, но и позволяет характеризовать проницаемость материала для различных агрессивных жидкостей, устанавливая связь между структурой материала и внутренними напряжениями, вызванными усадочными деформациями. Обобщение данных по определению коэффициентов переноса вещества позволит более точно на стадии проектирования состава бетона прогнозировать морозостойкость.

Литература

- Баженов Ю.М., Горчаков Г.И., Алимов Л.А. и др. Структурные характеристики бетонов. - Бетон и железобетон. - 1972. - № 9.- С. 19.
- Шейкин А.Е., Чеховский Ю.В., Бруссер М.И. Структура и свойства цементных бетонов. - М.: Стройиздат, 1979. - 332 с.
- Горчаков Г.И., Алимов Л.А., Воронин В.В. и др. Зависимость морозостойкости бетонов от их структуры и температурных деформаций. - Бетон и железобетон. - 1972. - № 10. - С. 7-10.
- Чеховский Ю.В., Лифшиц А.В. Ускоренные методы определения морозостойкости бетона. -Обзорная информация.- Выпуск 1.- Серия 3.-М. - 1986 - 45 с.
- Лыков А.В. Явления переноса в капиллярно-пористых телах.-Мн.: Высшая школа, 1974. - 290 с.
- Бутрим С.Ф. Ускоренный метод оценки морозостойкости бетона.- М., 1977. - 89с. - (Сб.тр./ВНИИСТ, Вып.36).