

**ПРЕДПОСЫЛКИ К УСКОРЕННОМУ ОПРЕДЕЛЕНИЮ МОРОЗО-
СТОЙКОСТИ
БЕТОНА СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИМ МЕТОДОМ**

Блещик Н.П.

Строительный факультет, БГПА

Лазаренко О.В.

Строительный факультет, ПГУ

Минск, Новополоцк, Беларусь

Рассматриваются основные положения структурно- механического метода ускоренного определения морозостойкости бетона по ГОСТ 10060.4-95, приводятся предпосылки по его совершенствованию с целью получения достоверных данных о марке бетона по морозостойкости.

Ключевые слова: морозостойкость бетона, структурно- механический метод, структурные характеристики, однократное замораживание.

Над проблемой морозной деструкции бетона работают ученые многих стран мира уже более 100 лет. Однако до сих пор нет достаточной ясности о механизме морозного повреждения и структурных параметрах его определяющих. В последние года эта проблема получила дальнейшее развитие благодаря работам Г.И.Горчакова и сотрудников [1,2], Добролюбова и др.[3], Кунцевича О.В.[4], Пауэрса Т.К.[5], Москвина и сотрудников [6], Стольников В.В.[7], Шейкина А.Е., Добшица Л.М.[8,9], Шлаина А.Т.[10] и др. В этих работах обсуждаются несколько гипотез морозной деструкции бетона, но ни одна из них не объясняет всей совокупности экспериментальных данных. В этой связи проектирование состава морозостойкого бетона осуществляется методом проб и

ошибок, а о стойкости бетона судят по результатам трудоемких и длительных испытаний контрольных образцов методом прямого замораживания.

С целью получения возможности прогнозирования деструктивных процессов, возникающих в бетоне при циклическом замораживании, в новые межгосударственные стандарты (ГОСТы 10060.0- 4-95) включены dilatометрический (ГОСТ 10060.3- 95) и структурно- механический (ГОСТ 10060.4- 95) методы ускоренного определения морозостойкости бетона. При получении достоверных данных они позволили бы определять в короткие сроки рациональные составы бетона по его заданной морозостойкости и физико- механическим свойствам исходных материалов, что имело бы большое значение как для предприятий строительной индустрии, так и для строительных лабораторий.

Однако эти методы рекомендованы только для оценки морозостойкости бетона при подборе и корректировке его состава лабораториями предприятий стройиндустрии и не могут использоваться для определения марки бетона по морозостойкости. Кроме того, в них не решен ряд задач при определении структурных характеристик бетона, а также приняты некоторые дискуссионные положения, противоречащие общеизвестным экспериментальным данным.

Так например, известно [10], что причиной морозной деструкции бетона являются не только температурные деформации расширения свободной воды при замерзании, но и неоднородное поле деформаций, возникающее в цементном камне и зернах заполнителя. По этой причине морозная деструкция бетона наблюдается при циклическом замораживании даже абсолютно сухого бетона, что не может определяться dilatометрическим методом. Кроме того, разность объемных деформаций при равных водоцементных отношениях цементного камня будет увеличиваться с увеличением его объемной концентрации. Соответственно, по предлагаемому dilatометрическому методу будет уменьшаться и морозостойкость бетона, что не согласуется с общеизвестными данными, в том числе с [11]. Нельзя также не отметить и то обстоятельство, что для определения объемных деформаций стандартных и контрольных образцов бетона до настоящего времени отсутствуют серийно изготавливаемые dilatометры.

Несмотря на внешнюю привлекательность и перспективность идеи ускоренного определения морозостойкости бетона по его структурно- механическим характеристикам и соотношению прочности в замороженном состоянии, принятая в ГОСТе 10060.4- 95 методика определения морозостойкости также вызывает ряд существенных возражений. Рассмотрим наиболее важные из них.

В предлагаемом методе рекомендуется использовать для определения морозостойкости бетона как в случае применения изготовленных образцов - кубов, так и в случае образцов-кернов капиллярно-открытую пористость, рассчитываемую для тяжелого бетона по формуле:

$$P_i = \frac{W_i - K_5 \Delta V'_i \cdot P_i}{10}, \quad (1)$$

где P_i – капиллярно-открытая пористость бетона, %;

W_i – объем воды затворения в 1 л уплотненной смеси образца бетона за вычетом водоотделения или водопоглощения заполнителями в процессе уплотнения, см³;

$\Delta V'_i$ – удельная контракция применяемого цемента к сроку испытания бетона на морозостойкость, см³/г;

K_5 – стехиометрический коэффициент контракции цемента.

Между тем известно [10,11], что не существует однофакторной зависимости бетона от его капиллярной пористости. Она зависит также от многих других факторов, в том числе от соотношения капиллярной и гелевой пористости, объемной концентрации цементного камня, термических коэффициентов, межзерновой пустотности и удельной поверхности заполнителей, режимов уплотнения смесей, термовлажностных условий твердения бетона. Введение в расчетные зависимости дополнительного коэффициента повышения прочности замороженного бетона не может компенсировать влияние этих факторов. Кроме того, расчетная зависимость (1) не учитывает влияния многих существенных факторов, в том числе минералогического состава цемента, его удельной поверхности, температурных режимов гидратации цемента, содержания минеральных добавок, объемной концентрации цементного камня, наличия химических модификаторов бетона (пластификаторов и ускорителей твердения).

Нельзя также согласиться с предложенной методикой определения значений удельной контракции цемента и ее стехиометрического коэффициента. По предложенной методике значение $\Delta V'_i$ определяется по характеристикам контракции, полученным по экспериментальным данным за 3 часа и затем экстраполируемым на проектный возраст (28 сут). Экстраполяция производится по данным одной таблицы без учета минералогического состава цемента, его удельной поверхности, содержания гипса и минеральных добавок. Между тем

бесспорным является известное положение о том, что соотношение характеристик контракции цементного камня в проектном и начальном возрастах будет существенно зависеть от дисперсности цемента и минералогического состава клинкера, особенно от содержания C_3A и C_3S . На величину контракции существенное влияние оказывает также водоцементное отношение. Несмотря на это в стандарте рекомендуется определять значения характеристик контракции на образцах цементного теста нормальной густоты. Эти же факторы нельзя не учитывать и при определении стехиометрического коэффициента K_5 , значения которого для всех портландцементов независимо от содержания и вида минеральных добавок, минералогического состава клинкера и тонкости помола рекомендуется принимать в пределах 5,1...5,2.

Анализируя формулу (1) можно сделать вывод о том, что капиллярно-открытая пористость в ней определяется по разности объемов свободной воды в бетонной смеси и продуктов гидратации цемента, т. е. геля. Между тем многими экспериментальными исследованиями установлено, что около 80 % гелевых пор также доступны к водонасыщению и замерзанию. Следовательно объем этих пор должен быть отнесен к открытым порам.

Большинство исследователей считают, что снижение долговечности влажного бетона при его попеременном замораживании и оттаивании обусловлено, в основном, увеличением объема при фазовом переходе вода-лед. При этом многие из них к главной причине относят гидравлическое давление, возникающее во влажном бетоне под влиянием замерзающей воды. " Это гидравлическое давление создается в порах и капиллярах бетона в результате сопротивления гелевой составляющей цементного камня продавливанию через поры геля поровой жидкости, отжимаемой льдом" [3].

С помощью этой гипотезы удалось ввести некоторые количественные характеристики, которые в какой-то степени позволяют проектировать морозостойкий бетон. К ним относятся фактор расстояния ФР, равный расстоянию между воздушными порами в цементном камне; объем пор геля Пг, объем резервных условно замкнутых пор Пр. При определении этих характеристик расчетно-экспериментальными методами учитывается гидратация цемента и образование при этом резервных объемов воздуха, обусловленных процессами контракции. К резервным условно замкнутым порам следует относить около 20 % гелевых пор.

Критический анализ основных положений, принятых в структурно- механическом методе ускоренного определения морозостойкости бетона, результаты теоретических и экспериментальных исследований [1-13 и др.] позволили сформулировать следующие предпосылки к разработке нового стандарта республики Беларусь: Бетоны. Структурно- механический метод ускоренного определения морозостойкости:

1. В качестве основных критериев морозостойкости бетона следует принять отношение открытой Π_0 к условно замкнутой $\Pi_{у.з}$ пористостей бетона и коэффициент повышения прочности при однократном замораживании

2. Открытая и условно замкнутая пористости бетона должны рассчитываться по составу бетона и степени уплотнения бетонной смеси в зависимости от степени гидратации цемента α в заданных термовлажностных условиях, относительного количества химически связанной воды при полной гидратации цемента W , относительного содержания массы минеральных добавок в цементе r_d , плотности геля в цементном камне ρ_2 . При этом могут быть использованы следующие формулы:

$$\Pi_0 = \left[1 - m_2 \frac{(1-\alpha)(\rho_{в.м} / \rho_ч)}{\rho_{в.м} / \rho_ч + (B - B_{погл}) / Ц} + 0,8 \frac{(1+w) \cdot \alpha \cdot (\rho_{в.м} / \rho_2 - \rho_{в.м} / \rho_{к.з})}{\rho_{в.м} / \rho_ч + (B - B_{погл}) / Ц} \right] \times$$

$$\times 10^{-3} Ц (0,32 + ((B - B_{погл}) / Ц + m_{в.см});$$

(2)

$$\Pi_{у.з} = 0,2 \frac{(1+w) \cdot \alpha \cdot (\rho_{в.м} / \rho_2 - \rho_{в.м} / \rho_{к.з})}{\rho_{в.м} / \rho_ч + (B - B_{погл}) / Ц} \times 10^{-3} Ц (0,32 + (B - B_{погл}) / Ц), \quad (3)$$

где m_2 – объемная концентрация геля в цементном камне, определяемая по формуле

$$m_2 = \frac{(1+w) \cdot \alpha \cdot \rho_{в.м}}{\rho_2 \left(\rho_{в.м} / \rho_ч + (B - B_{погл}) / Ц \right)}; \quad (4)$$

$\rho_ч$ – плотность цемента;

$\rho_{в.м}$ – средняя плотность воды в цементном тесте, принимаемая при

$(B - B_{погл}) / Ц \geq 0,3$ равной плотности свободной воды, т.е. 1000 кг/м³

и при $(B - V_{\text{погл}}) / Ц < 0,3$ рассчитываемая с учетом плотности пленочной воды по методике [14];

$Ц$ – содержание цемента, $\text{кг}/\text{м}^3$;

B – содержание воды, $\text{кг}/\text{м}^3$;

$V_{\text{погл}}$ – количество воды, поглощенной заполнителем, $\text{кг}/\text{м}^3$;

$\rho_{\text{к.г}}$ – плотность камня в геле, принимаемая по данным [15] равной $2433 \text{ кг}/\text{м}^3$;

$m_{\text{в.см}}$ – относительное объемное содержание воздуха в бетонной смеси, определяемое в зависимости от ее степени уплотнения.

Степень гидратации цемента α и структурные характеристики w и ρ_2 рассчитываются по формулам, приведенным в статье Блещика Н.П. и Рыскина М.Н. настоящего сборника и в работе [13].

3. При расчете марки бетона по морозостойкости должны учитываться не только основные критерии, указанные в п.1, но и объемная концентрация цементного камня в бетоне. Соответственно с этим должна быть построена таблица определения максимальной морозостойкости. В настоящее время завершается комплекс экспериментальных исследований по накоплению банка данных для построения показателей шкалы морозостойкости бетона.

Литература

1. Горчаков Г.И., Морозостойкость бетона в зависимости от его капиллярной пористости. – Бетон и железобетон, 1964, №7, с. 302- 306.
2. Горчаков Г.И., Орендлихер М.П., Савин В.И., Воронин В.В., Алимов Л.А., Новикова И. П. Состав, структура и свойства цементных бетонов. – Стройиздат, 1976.
3. Добролюбов Г., Ратинов В.Б., Розенберг Г.И., Прогнозирование долговечности бетона с добавками. – М., Стройиздат. 1983.-231 с.
4. Кунцевич О. В. Бетоны высокой морозостойкости для сооружений крайнего севера. – Л., Стройиздат, 1981 г.
5. Пауэрс Т.К. Физическая структура портландцементного теста. В кн.: Химия цемента. – М., Стройиздат, 1969. - 312 с.
6. Москвин В.М., Капкин М.М., Мазур Б.М., Подвальный А.М. Стойкость бетона и железобетона при отрицательной температуре. – М., Стройиздат. 1967 – 131 с.

7. Стольников В.В. О теоретических основах сопротивляемости цементного камня и бетонов циклам замораживания и оттаивания., В кн.: Второй международный симпозиум по зимнему бетонированию, Т2.– М., Стройиздат, 1975.– с.253-263.
8. Шейкин А.Е. Прогнозирование морозостойкости бетона при выборе его состава. –Бетон и железобетон. 1979. С. 25.
9. Шейкин А.Е., Добшиц Л.М. Цементные бетоны высокой морозостойкости.– Л., Стройиздат, 1989 – 128 с.
10. Шлаен А.Г. Определение морозостойкости бетона по компенсационному методу- фактору. – Бетон и железобетон, 1979, №10. С. 20.
11. Клейнер В. Д. О механизме морозного повреждения бетона. – Изв. Вузов. Строительство и архитектура , 1988. №12, с.55-59.
12. Горчаков Г.И., Алимов Л.А., Воронин В.В., Акимов В.В. Зависимость морозостойкости бетонов от их структуры и температурных деформаций. – Бетон и железобетон, 1972, №10. с.7–10.
13. Отчет о НИР " Разработка основных положений структурно- механического метода экспрессной оценки морозостойкости бетона ". Руководитель Блещик Н.П.// Белорусская государственная политехническая академия. Минск, 1996.
14. Блещик Н.П. Структурно- механические свойства и реология бетонной смеси и прессвакуум бетона . – Мн., 1977.– 230 с.
15. Пауэрс Т. К. Физические свойства цементного теста и камня // четвертый международный Конгресс по химии цемента. – М.,:Стройиздат, 1964 . с.402 - 438.