

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

УДК 691.32

МОРОЗОСТОЙКОСТЬ БЕТОНА КАК ФУНКЦИЯ СОВМЕСТИМОСТИ ЦЕМЕНТА И ДОБАВКИ

канд. техн. наук, доц. В.В. ТРОЯН

(Киевский национальный университет строительства и архитектуры)

Методом дифференциальной сканирующей калориметрии исследована морозостойкость бетонов как функция совместимости цемента и добавки. Установлены закономерности повышения морозостойкости пластифицированных бетонов. Показано, что повышенное содержание эффективных сферических пор может привести к значительному снижению морозостойкости бетона в условиях воздействия реальных циклов замораживания-оттаивания даже в случае ее высоких значений по результатам стандартных испытаний. Повышение морозостойкости бетона достигается при минимизации эффективной пористости за счет минимизации В/Ц отношения и обеспечения совместимости в системе «цемент – добавка».

Введение. На протяжении последних лет широко изучается проблема совместимости в системе «цемент – добавка», но преимущественно с позиций реологии бетонных смесей и значительно меньше с позиций физико-механических свойств и долговечности бетонов. Исследование эффективности химических добавок как функции их совместимости с цементом нашло отражение в работах многих ученых, в частности: Sakai, Yamada, Ohta [1–3], J. Plank, C. Hirsch [4], В.С. Рамачандрана [5; 6], В.Г. Батракова [7], А.И. Вовка [8; 9], О.В. Ушерова-Маршака [10; 11], Б.В. Ратинова, Т.И. Розенберг [12], Р.Ф. Руновой [13; 14] и других [15].

Так, Winters [16] несовместимость определяет как взаимодействие между материалами бетона, которое приводит к случайным или недопустимым последствиям. Понятие совместимость относительно бетона О.В. Ушерова-Маршак рассматривает как способность добавок при взаимодействии с цементами обеспечивать и поддерживать необходимые свойства бетонных смесей и бетонов на протяжении определенного времени с учетом действия разных факторов [17].

Исследованиями В.М. Москвина [18], А.А. Гончарова, Ф.М. Иванова [19], Г.И. Горчакова [20] и других установлено, что морозостойкость бетона определяется характером его пористости. Считается, что чем меньше капиллярная пористость, тем ниже проницаемость бетона и выше его морозостойкость. Уменьшение капиллярной пористости, как правило, достигается за счет снижения В/Ц и более полной гидратации вяжущего. При этом нужно учитывать, что модификация бетонов может приводить к снижению степени гидратации цемента и, как следствие, к повышению общей и капиллярной пористости в сравнении с аналогичными (по составу и В/Ц) бетонами без добавок.

Исключительную важность приобретает проблема совместимости в системе «цемент – добавка» в случае использования суперпластификаторов (СП) новых поколений, которые отличаются высокой эффективностью при относительно низких концентрациях в составе бетонной смеси. Наиболее важным последствием несовместимости СП с цементом, который отражается на прочности и долговечности бетона, можно признать повышенное вовлечение воздуха, которое может достигать 5 % и увеличиваться при продолжительной транспортировке бетонных смесей [21].

Результаты исследования пластифицированных бетонов с повышенным вовлечением воздуха свидетельствуют, что в присутствии суперпластификаторов нафталинформальдегидного и меламинформальдегидного типов, морозостойкость бетона не ухудшается [5]. Суперпластификаторы поликарбоксилатного (ПК) типа характеризуются еще большим вовлечением воздуха [18], тем не менее влияние этого эффекта на морозостойкость бетона исследована недостаточно.

Таким образом, обозначенная проблема обусловила цель данной работы – исследование морозостойкости бетонов как функции совместимости суперпластификаторов поликарбоксилатного типа с цементами разных типов.

Исследование влияния эффективной пористости на морозостойкость бетонов. Объектом исследований были модифицированные бетоны различной прочности, полученные на основе цементов разных типов, пластифицированных суперпластификаторами ПК типа различных производителей.

Анализ морозостойкости бетона производили по объему открытых капиллярных пор, в которых замерзает лед при замораживании бетона, далее этот показатель предлагается называть «эффективной пористостью».

При проведении анализа исходили из двух предположений:

- 1) эффективная пористость равняется объему льда, который замерзает при температуре $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ в сферических и цилиндрических порах;
- 2) деструктивное действие льда, замерзающего в сферических и цилиндрических порах, различается, что необходимо учитывать при анализе.

Анализ осуществляли на основе данных, полученных методом дифференциальной сканирующей колориметрии (ДСК), который позволяет аналитически определить количество льда, замерзающего в сферических и цилиндрических порах цементного камня [22]. При замерзании воды в цилиндрических порах наблюдается эффект гистерезиса между кривыми температур замерзания и оттаивания, в то время как при замерзании воды в сферических порах эффект гистерезиса отсутствует [22].

Данные ДСК образцов бетона на основе ШПЦ III/A-400 (В/Ц-0,39), пластифицированного 0,8 % СП Sika 1020, свидетельствуют о миграции воды под давлением замерзающего льда в поры меньшего размера (рис. 1). При охлаждении бетона до $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ объем льда не превышает 11 г/дм^3 (эффективная пористость составляет 1,1 %) из которых при $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ замерзает лишь 50...70 % льда. Наличие гистерезиса кривых охлаждения и нагревания свидетельствует о цилиндрической форме пор, в которых замерзает вода.

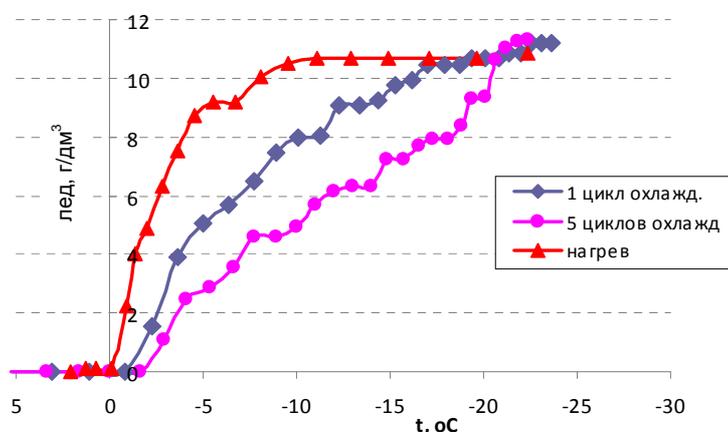


Рис. 1. Образование льда в зависимости от температуры бетона (В60; ШПЦ III/A-400; В/Ц-0,39)

Данные ДСК образцов бетона на основе ШПЦ III/ A-400 (В/Ц-0,4), пластифицированного 0,8 % СП PowerFlow 2240, указывают на то, что общий объем льда (рис. 2) при температуре охлаждения ниже $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ достигает 33 г/дм^3 (эффективная пористость равна 3,3 %). При этом отсутствие гистерезиса при охлаждении и нагревании до $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ свидетельствует о том, что почти 25 г/дм^3 льда замерзает в сферических порах.

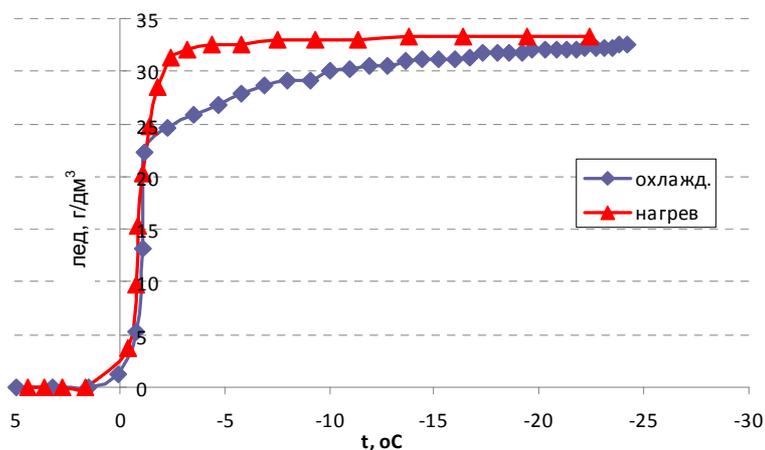


Рис. 2. Образование льда в зависимости от температуры бетона и его состава (В40; ШПЦ III/ A-400 В/Ц-0,4)

С точки зрения морозостойкости бетона при одинаковом количестве (амплитуде) перепадов температуры окружающей среды, вследствие отсутствия гистерезиса, количество циклов замораживания-оттаивания и деструктивное влияние льда в сферических порах может быть большим, чем в цилиндриче-

ских порах. Так, из рисунка 3 видно, что при одинаковом количестве льда, замерзающего в порах двух образцов бетонов (*a* и *б*), характеризующихся одинаковой морозостойкостью при циклическом замораживании до -20°C , половина этого льда в цилиндрических порах замерзает при -10°C (рис. 3, *a*), а в сферических порах при -3°C (рис. 3, *б*). При этом для полного оттаивания половины льда, который замерзает в цилиндрических порах (рис. 3, *a*), требуется перепад температуры бетона 10°C , в то время как в случае сферических пор достаточным является перепад температуры бетона 3°C (рис. 3, *б*).

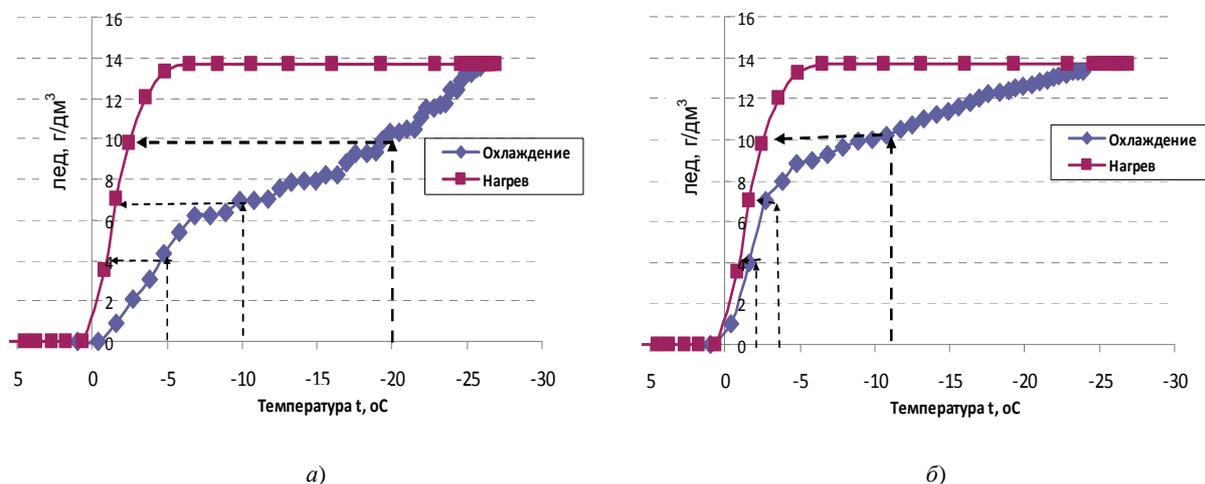


Рис. 3. Образование льда в зависимости от температуры бетона:
a – в цилиндрических порах; *б* – в сферических и цилиндрических порах

Таким образом, воздействие спектра циклов замораживания-оттаивания в реальных климатических условиях может значительно ускорить деструкцию бетона с повышенным содержанием сферических эффективных пор.

Обобщенные данные относительно зависимости открытой капиллярной и эффективной пористости от прочности бетона приведены на рисунке 4.

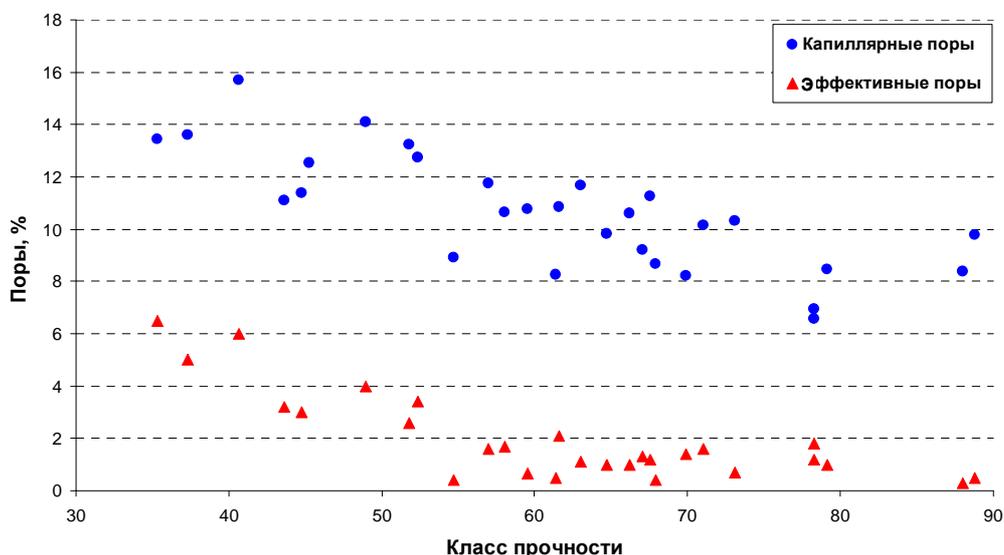


Рис. 4. Зависимость капиллярной и эффективной пористости от прочности бетона

Как видно из рисунка 4, эффективная пористость коррелирует с капиллярной (коэффициент корреляции 0,84), но составляет лишь 10...40 % от нее. Таким образом, эффективная пористость является более объективной характеристикой морозостойкости бетона, чем капиллярная, поскольку, в отличие от эффективной пористости, в преобладающей части открытых капиллярных пор вода вследствие действия поверхностных сил не замерзает.

Эффективная пористость уменьшается с увеличением прочности бетона и коррелирует с содержанием клинкерной составляющей в цементе (рис. 5).

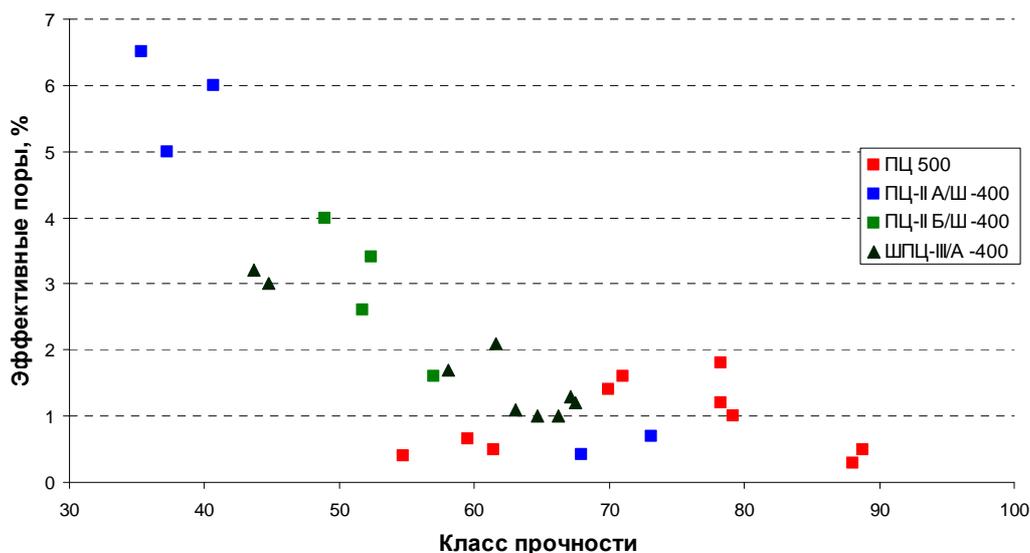


Рис. 5. Зависимость эффективной пористости от прочности бетона и типа цемента

Видим, что бетоны на цементах с высоким содержанием клинкерной составляющей характеризуются повышенной вариацией значений эффективной пористости, что объясняется повышенной активностью таких цементов при их взаимодействии с суперпластификаторами ПК типа и, как следствие, повышенным вовлечением воздуха.

Заключение. По результатам исследования установлено, что содержание эффективных сферических пор в бетоне, пластифицированном суперпластификатором ПК типа, преимущественно увеличивается с увеличением содержания клинкерной составляющей в цементе. Повышенное содержание эффективных сферических пор может привести к значительному снижению морозостойкости бетона в условиях воздействия реальных циклов замораживания-оттаивания даже в случае ее высоких значений по результатам стандартных испытаний. Повышение морозостойкости бетона достигается при минимизации эффективной пористости за счет минимизации В/Ц отношения и обеспечения совместимости в системе «цемент – добавка».

ЛИТЕРАТУРА

1. Sakai, E. Molecular Structure and Dispersion Adsorption Mechanisms of Comp-Type Superplasticizers Used in Japan / E. Sakai, K. Yamada, K. Ohta // Journal – meed Concrete Technology. – 2003. – Vol. 1, № 1. – P. 16–25.
2. Ohta, A. Study on the Dispersion Mechanism of Polycarboxylate-based Dispersing Agent / A. Ohta, T. Uomoto // Cement Science and Concrete Technology. – № 52. – P. 138–143.
3. Ohta, A. Study of Dispersing Effects of Polycarboxylate-Based Dispersant on Fine Particles / A. Ohta, T. Sugiyama, T. Uomoto: Proc. Sixth CANMET/ACI, Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete, 2000. – P. 211–228.
4. Plank, Johann Impact of zeta potential of early cement hydration phases on superplasticizer adsorption / Johann Plank, Christian Hirsch // Cement and Concrete Research 37, Germany, (2007). – P. 537–542.
5. Добавки в бетон: справ. пособие / В.С. Рамачандран [и др.]; под ред. В. С. Рамачандрана; пер с англ. Т.И. Розенберг и С.А. Болдырева; под ред. А.С. Болдырева и В.Б. Ратинова. – М.: Стройиздат, 1988. – 575 с.
6. Ramachandran, V.S. Adsorption and Hydration Behavior of Tricalcium Aluminate-Water and Tricalcium Aluminate-Gypsum-Water Systems in the Pres-Superplasticizers / V.S. Ramachandran // J. Am. Concr. Inst., 1983. – P. 235–241.
7. Батраков, В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика / В.Г. Батраков, 1998. – 768 с.
8. Вовк, А.И. Гидратация трехкальциевого алюмината C_3A и смесей C_3A -гипс в присутствии ПАВ: адсорбция или поверхностное фазообразование / А.И. Вовк // Коллоидный журнал. – 2000. – Т. 62, № 1. – С. 31–38.
9. Мокрушин, А.Н. Эффективность суперпластификаторов в зависимости от содержания щелочей в портландцементе / А.Н. Мокрушин, А.И. Вовк // Цемент. – 1995. – № 1. – С. 32–33.

10. Ушеров-Маршак, А.В. Совместимость цементов с химическими и минеральными добавками / А.В. Ушеров-Маршак, М. Циак, Л.А. Першина (1 ч.) // Цемент и его применение. – 2002. – № 6. – С. 6–8.
11. Ушеров-Маршак, А.В. Совместимость цементов с химическими и минеральными добавками (2 ч.) / А.В. Ушеров-Маршак, М. Циак, О.А. Златковский // Цемент и его применение. – 2003. – № 1. – С. 38–40.
12. Ратинов, Б.В. Добавки в бетон / Б.В. Ратинов, Т.И. Розенберг. – М.: Стройиздат, 1989. – 188 с.
13. Рунова, Р.Ф. Сумісність добавок в системі «пластифікатор – прискорювач гідратації» при активації шлакопортландцементу / Р.Ф. Рунова, В.В. Троян, В.В. Осипенко // Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка: науково-технічний зб. Вип. 35. – Київ: Товариство «Знання України», 2010. – С. 26–30.
14. Рунова, Р.Ф. Підвищення ефективності пластифікованих шлаковміщуючих портландцементів / Р.Ф. Рунова, В.В. Троян, В.В. Осипенко // Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка: наук.-техн. зб. Вип. 33. – Київ: Товариство «Знання України», 2009. – С. 46–52.
15. Троян, В.В. Добавки для бетонів і будівельних розчинів навчальний посібник / В.В. Троян. – Ніжин: ТОВ «Видавництво “Аспект-Поліграф”», 2010. – 228 с.
16. Winters, R. Cement/admixture incompatibility: fact or fallacy? / R. Winters // Trouble-shooting problems often misdiagnosed as cement/admixture incompatibility, The Aberdeen Group, 1996. – 4 p.
17. Ушеров-Маршак, А.В. Совместимость – тема бетоноведения и ресурс технологии бетона / А.В. Ушеров-Маршак, М. Циак // Строительные материалы. – 2009. – № 11. – С. 5–10.
18. Москвин, В.М. Стойкость бетона и железобетона при отрицательной температуре / В.М. Москвин, М.М. Капкин, А.М. Подвальный. – М.: Стройиздат, 1967. – 132 с.
19. Гончаров, А.А. Морозостойкость бетонов различной прочности, нагруженных сжатием / А.А. Гончаров, Ф.М. Иванов // Гидротехническое строительство. – 1969. – № 6.
20. Влияние льдообразования в порах бетона на морозостойкость / Г.И. Горчаков [и др.] // Бетон и железобетон. – 1977. – № 2. – С. 16–18.
21. Вовк, А.И. О некоторых особенностях применения гиперпластификаторов / А.И. Вовк // Будівельні виробы та санітарна техніка. – 2007. – № 26. – С. 9–13.
22. Ушеров-Маршак, А.В. Калориметрия цемента и бетона / А.В. Ушеров-Маршак; ред. В.П. Сопов. – Х.: Факт, 2002. – 183 с.

Поступила 17.11.2014

FROST RESISTANCE OF CONCRETE AS A FUNCTION OF COMPATIBILITY OF CEMENT AND ADMIXTURE

V. TROYAN

By differential scanning calorimetry method the frost resistance of concrete, as a function of the compatibility of cement and admixtures investigated. The regularities of increase the frost resistance of plasticized concrete determined.