

Бражник А.В.

Харьковский государственный автомобильно-дорожный колледж  
(ул. Котельниковская, 3, Харьков, 61051, Украина; e-mail: anna.matyash@bk.ru)

## ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ДОРОЖНЫЙ ЦЕМЕНТОБЕТОН МОРОЗНО – СОЛЕВОЙ СРЕДЫ

В статье рассмотрены гипотезы морозного разрушения бетонов в условиях переменного замораживания и оттаивания. Показано, что при морозно-солевом воздействии в среде NaCl, соли откладываются в порах и дефектах структуры бетона. Экспериментально доказано, что кристаллизация солей приводит вначале к уплотнению уровней структуры бетона, а затем, по мере нарастания давления кристаллизующейся соли – к быстрой потере прочности и постепенному разрушению бетона.

**Ключевые слова:** цементобетон, морозостойкость, морозно-солевое воздействие, растворы солей, прочность.

Одной из основных причин разрушения бетона является многократное его переменное замораживание и оттаивание в водонасыщенном состоянии. Это объясняется увеличением объема льда в порах бетона на 9 – 10 %, в результате чего создается давление воды на стенки пор и в бетоне возникают значительные внутренние напряжения.

Изучением причин разрушения бетонов при переменном замораживании-оттаивании занимались Л.А. Алимов, Ю.М. Бутт, В.В. Воронин, В.С. Гладков, И.М. Грушко, Б.В. Гусев, Е.А. Гузеев, Г. Добролюбов, Л.М. Добшиц, П.Г. Комохов, И.М. Красный, Б.А. Крылов, А.В. Лагойда, С.А. Миронов, В.М. Москвин, Н.А. Мощанский, О.С. Попова, К.А. Пирадов, И.Г. Портнов, В.Б. Ратинов, Т.Т. Розенберг, Н.К. Розенталь, В.П. Сизов, В.И. Соломатов, В.Ф. Степанова, В.В. Стольников, Б.Я. Трофимов, А.В. Ушеров-Маршак, А.Е. Шейкин, С.В. Шестоперов, А.Г. Шлаен, А.М. Шейнин и другие ученые.

При заполнении поры или капилляра водой, образование льда будет сопровождаться возникновением напряженного состояния в микрообъеме цементного бетона из-за давления растущих кристаллов льда на стенки пор. Давление растущих кристаллов льда в первую очередь передается на оставшуюся жидкую фазу, не замерзшую при температуре – 18 °С, так как при выпадении пресных кристаллов льда оставшаяся жидкая фаза обогащается щелочами или солями. Поэтому, влияние циклического изменения температуры усиливается дополнительным воздействием растворов

солей. Так как, получила, широкое распространение практика применения солей (NaCl, CaCl<sub>2</sub>) для удаления льда с дорожных покрытий. Диффузия соли в бетон приводит к возникновению градиента ее концентрации, что также вызывает повышенные напряжения, шелушение и отслаивание поверхностного слоя. В присутствии солей увеличиваются осмотические явления в замораживаемом бетоне, повышается вязкость жидкой фазы. В результате возрастает величина гидравлического давления, что ускоряет разрушение бетона (известно, что при замерзании воды, при температуре – 5 °С, создается давление порядка 5000 МПа [1]). Так же при любой температуре замораживания есть часть испаряемой воды, расположенной в порах цементного камня. В случае применения 5 % раствора NaCl, образуются кристаллы соли, дальнейший рост которых возможен при последующем замораживании. Это и может объяснять рост прочности бетона до определенного количества циклов замораживания и оттаивания, пока рост кристаллов соли не будет создавать дополнительное давление на стенки пор и капилляров, что приведет к локальному разрушению бетона.

Для проверки высказанного предположения была исследована морозостойкость бетона в воде и в 5% - ном растворе NaCl [2]. Состав бетона был подобран по принципу обеспечения наибольшей плотности для данных материалов: цемент – 380 кг/м<sup>3</sup>, песок – 560 кг/м<sup>3</sup>, щебень фр.5-10 – 536 кг/м<sup>3</sup>, щебень фр.10-20 – 804 кг/м<sup>3</sup>, добавка FM-21 - 0,7 % от m<sub>ц</sub>, вода – 166,6

л/м<sup>3</sup>. Подвижность бетонной смеси – П1. В экспериментах использовали цемент ПЦ П/А-Ш М400, песок кварцевый Вознесенского карьера Мкр=2,4, щебень гранитный – «Кировоградгранит» фракций 5-10 и 10-20мм. В составы бетонной смеси вводили суперпластификатор FM-21 производства Германии.

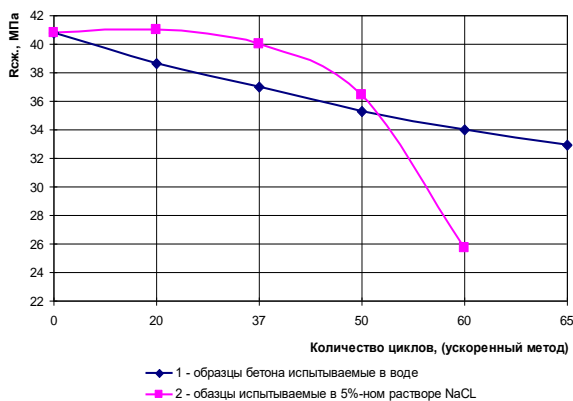


Рис. 1. Зависимость прочности бетона от количества циклов замораживания и оттаивания в различных средах

Исследования морозостойкости (рис.1) показало, что у образцов бетона, которые замораживались при температуре -50<sup>0</sup>С и оттаивали при +18<sup>0</sup>С в 5%-ном растворе NaCl, к 37 циклам испытаний на морозостойкость по ускоренной методике значительных изменений в прочности не наблюдалось. Дальнейшее замораживание и оттаивание – привело к резкому снижению прочности и разрушению образцов.

У образцов бетона, испытываемых в воде на протяжении всего эксперимента наблюдалось постепенное снижение прочности, видимые внешние разрушения проявились после 50 циклов замораживания и оттаивания.

Снижение прочности бетонов при морозно-солевом воздействии при принятом методе испытания начинается после 37 циклов и происходит достаточно интенсивно, что косвенно подтверждает предположение о наложении кристаллизационного давления солей в порах бетона на давление льда и воды на стенки пор.

Проведенные нами исследования показали, что при морозно-солевом воздействии, кроме вышеописанных явлений,

имеет место кристаллизация солей в порах и капиллярах цементного камня и раствора. Если льдообразование возможно в относительно крупных порах и капиллярах, то соли могут кристаллизоваться в пустотах практически любых размеров. При кристаллизации солей на каком-то начальном этапе кристаллы будут способствовать «зарастанию» пор и капилляров, т.е. уплотнению микроструктуры. Уплотнение структуры приведет к повышению прочности бетона в целом, что отмечено многими исследователями. Т.е. после определенного числа циклов замораживания-оттаивания происходит упрочнение бетона, которое можно объяснить кристаллизацией солей в порах и дефектах структуры, а также продолжающейся гидратацией цемента по топомхимической схеме в результате гидравлического давления воды. Вышесказанное подтверждают данные оптической микроскопии. На срезах бетона, сделанных до начала испытаний на морозостойкость, видна его структура, включающая поры, а также мелкий и крупный заполнитель (рис.2).

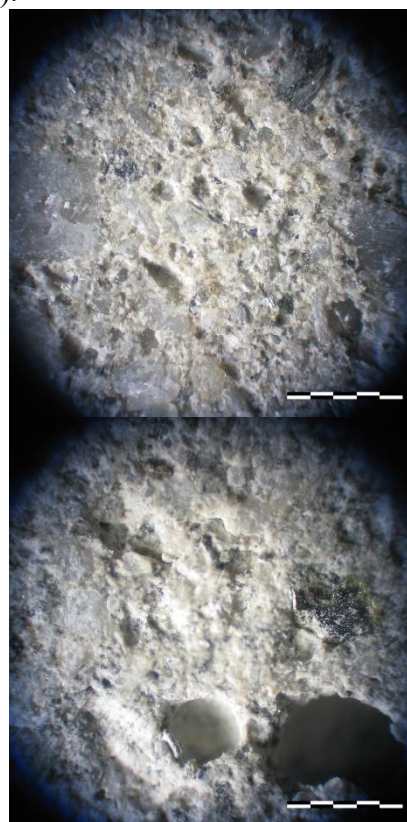


Рис. 2. Срез образца бетона до начала испытания (увеличение 32<sup>x</sup>)

После 37 циклов испытания бетона по ускоренной методике (замораживание при  $-50^{\circ}\text{C}$  в 5%-ном растворе NaCl, оттаивание – в том же растворе при  $+18^{\circ}\text{C}$ ) на срезах при увеличении в 32 раза становятся видны блестящие кристаллы соли, которые равномерно располагаются по всей поверхности среза. Эти кристаллы откладываются, в первую очередь, в различного рода полостях и дефектах структуры, о чем свидетельствует фотографии (рис.3, 4).

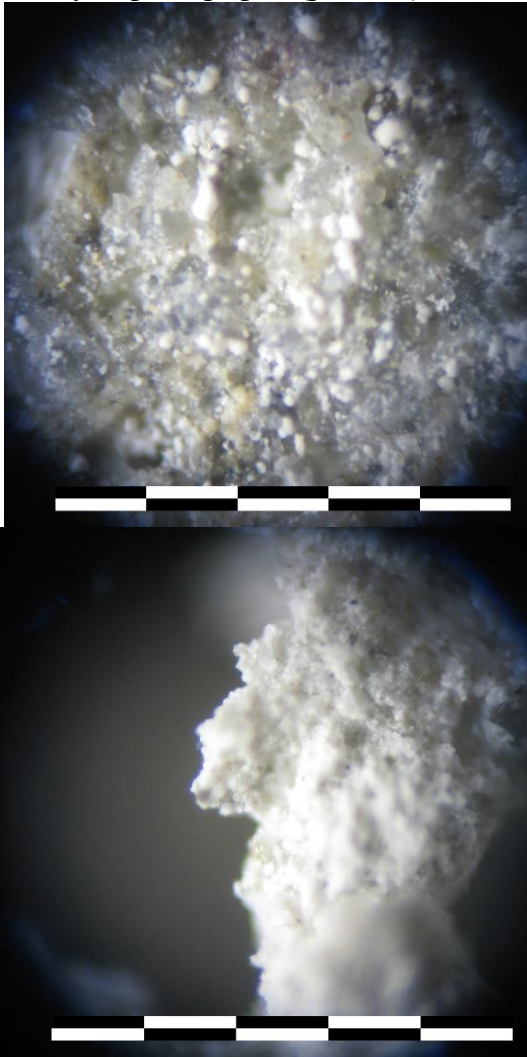


Рис. 3. Срез образца бетона после 37 циклов замораживания и оттаивания в 5%-ном растворе NaCl (увеличение  $100\times$ )

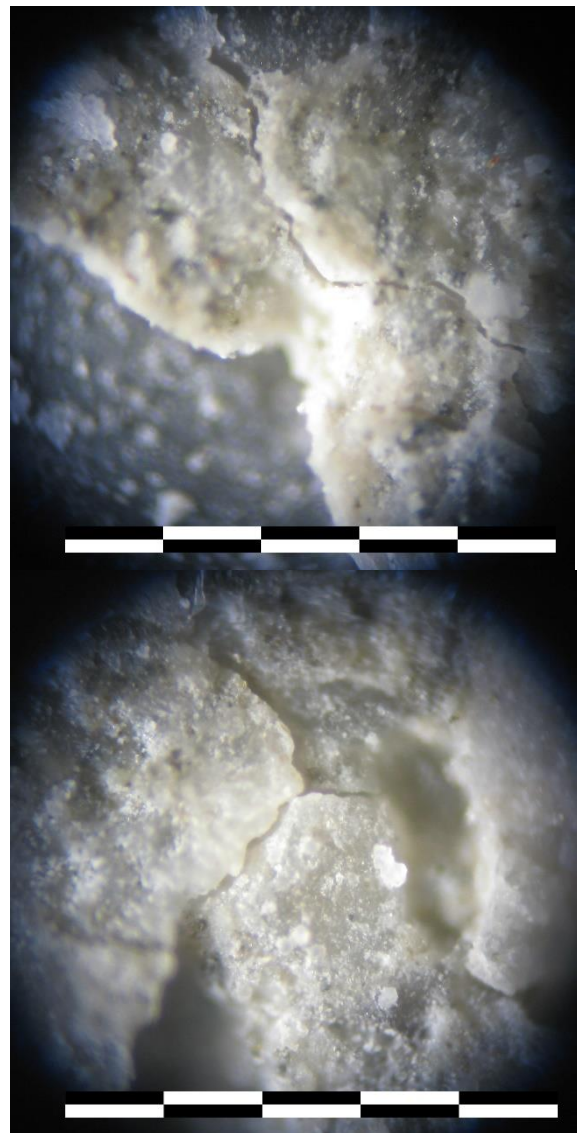


Рис. 4. Срез образца после 50 циклов замораживания и оттаивания в 5%-ном растворе NaCl (увеличение  $100\times$ )

На фотографии при увеличении в 100 раз приведены поры с кристаллизующейся солью и самого кристалла NaCl, растущего на стенке поры. На образцах, испытываемых на морозостойкость в воде, отложение кристаллов не наблюдалось (рис. 5). Это подтверждает высказанное выше предположение о зарастании пор при кристаллизации на их стенках соли из водного раствора.



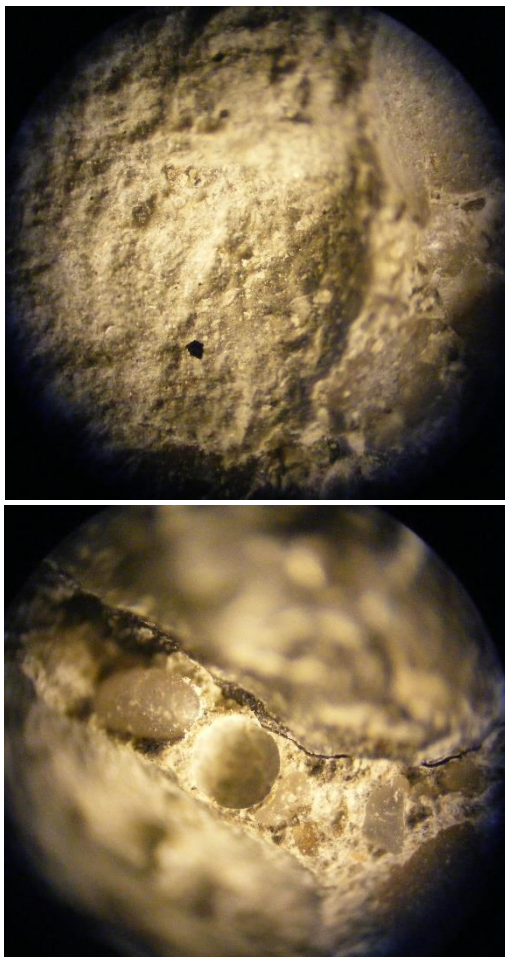


Рис. 5. Срез образца бетона после 50 циклов замораживания и оттаивания в воде (увеличение 32х и 100х)

Таким образом, можно сделать вывод о том, что причиной морозного разрушения дорожных бетонов в период эксплуатации является комплекс воздействий, вызванный влиянием гидравлического давления воды и кристаллизационных давлений льда и солей. В этом случае логичным будет предположить, что повышение морозостойкости можно добиться путем повышения плотности структуры бетона на всех ее уровнях [3, 4]. Существующие методы подбора составов бетона позволяют обеспечить такую высокую плотность за счет уменьшения В/Ц путем применения современных гиперпластификаторов, уменьшения пористости цементного камня за счет введения порошкообразных модификаторов микроструктуры, снижения величины капиллярной пористости при использовании цементов с активными минеральными добавками и т.д.

#### Выводы:

1. Существует несколько различных гипотез морозного разрушения бетонов в условиях переменного замораживания-оттаивания, согласно которым разрушение начинается в порах и дефектах структуры, заполненных водой, и является результатом давления воды или льда на стенки пор.

2. Установлено, что для дорожных бетонов механизм разрушения может отличаться от вышеуказанного в силу того, что они подвергаются морозно-солевому воздействию в среде NaCl. При этом соли, откладываясь в порах, могут оказывать дополнительное кристаллизационное воздействие на стенки пор.

3. Экспериментально доказано, что кристаллизация солей в порах и других дефектах структуры приводит вначале к уплотнению уровней структуры бетона и упрочнению бетона, а затем, по мере нарастания давления кристаллизующейся соли – к быстрой потере прочности и постепенному разрушению бетона.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Добшиц Л.М., Портнов И.Г., Соломатов В.И. Морозостойкость бетонов транспортных сооружений: Учебное пособие. – М.: МИИТ, 1999. – 236 с.
2. ДСТУ Б В.2.7-47-96 Бетоны. Методы определения морозостойкости
3. Толмачов С.Н., Кондратьева І.Г., Беліченко О.А., Матяш Г.В. Морозостійкі дорожні бетони з оптимізованим повітряутягненням. – В сб. Сучасні технології бетону.- вип. 72.- Будівельні конструкції. – Київ: НДІБК -2009.- С.553-560.
4. Матяш А.В., Толмачев С.Н., Кондратьева І.Г., Вялых А.Ю. Взаимосвязь воздухоудержания бетонной смеси и морозостойкости бетона. – В сб. Науковий вісник будівництва. – вип. 57. – Харків ХДТУБА ХОТВ АБУ – 2010. – С. 195-202.

**Бражник А.В. ВПЛИВ НА ДОРОЖНІЙ ЦЕМЕНТОБЕТОН МОРОЗНО-СОЛЬОВОГО СЕРЕДОВИЩА.** У статті розглянуті гіпотези морозного руйнування бетонів в умовах змінного заморожування і відтавання. Показано, що при морозно-солевому впливі в середовищі NaCl, солі відкладаються в порах і дефектах структури бетону. Експериментально доведено, що кристалізація солей призводить спочатку до ущільнення рівнів структури

бетону, а потім, у міру наростання тиску кристалізується солі - до швидкої втрати міцності і поступового руйнування бетону.

**Ключові слова:** цементобетон, морозостійкість, морозно-сольовий вплив, розчини солей, міцність.

**Brazhnik A.V. IMPACT ON ROAD CEMENT-CONCRETE FROST-SALT ENVIRONMENT.**

In the article hypotheses of frost destruction of concrete in the conditions of variable freezing and thawing are considered. It is shown that in the case of frost-salt action

in NaCl medium, salts are deposited in the pores and defects of the concrete structure. It has been experimentally proved that the crystallization of salts leads first to the compaction of the levels of the concrete structure, and then, as the pressure of the crystallizing salt increases, to a rapid loss of strength and gradual destruction of the concrete.

**Key words:** cement concrete, frost-resistance, frost-salt effect, salt solutions, strength.

УДК 691.31

**Лаповская С.Д., Демченко Т.Н.**

*Государственное предприятие «Украинский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт строительных материалов и изделий «НИИСМИ»*

*(ул. Константиновская, 68, Киев, 04080, Украина; e-mail: [mi@kievweb.com.ua](mailto:mi@kievweb.com.ua))*

**ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА АВТОКЛАВНОГО ТВЕРДЕНИЯ ЗА СЧЕТ СНИЖЕНИЯ ЕГО ВОДОПОГЛОЩЕНИЯ**

В статье приведены результаты исследования влияния кремнийорганических гидрофобизирующих добавок на основные физико-механические свойства автоклавных газобетона марки по средней плотности D400.

**Ключевые слова:** бетон, водопоглощение, добавка, гидрофобизация, морозостойкость, плотность, прочность, ячеистый бетон.

Ячеистые бетоны автоклавного твердения относятся к строительным материалам, структура которых характеризуется высокой пористостью и значительной гидрофильностью [1-5]. Поэтому вопрос снижения сорбционного влагосодержания и водопоглощения ячеистого бетона являются актуальными, учитывая необходимость расширения сферы применения этого прогрессивного строительного материала. Снизить показатели сорбционного влагосодержания и водопоглощения ячеистого бетона до определенного оптимального значения возможно путем оптимизации его структуры.

Одним из направлений оптимизации структуры строительных материалов является их гидрофобизация - поверхностная или объемная - с помощью различных органических соединений, способных придать поверхности материала водоотталкивающие свойства.

Известная [6] технология объемной гидрофобизации автоклавного газобетона кремнийорганической соединением ПМС-100 позволяет получить материал с водопоглощением от 2 до 12 % по массе. Однако

жидкость ПМС-100 имеет достаточно высокую кинематическую вязкость –  $(95-105) \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$  при  $+20 \text{ }^\circ\text{C}$ , что затрудняет равномерное распределение гидрофобизатора по объему смеси, а следовательно, требует больших затрат энергии на приготовление ячеистобетонной смеси.

В Украине производится целый ряд продуктов на основе полисилоксанов, которые имеют теплостойкость свыше  $200 \text{ }^\circ\text{C}$  и более низкую по сравнению с ПМС-100 кинематическую вязкость, что теоретически позволит использовать их для объемной гидрофобизации ячеистого бетона автоклавного твердения. Характеристики продуктов приведены в табл. 1-3.

Таблица 1 - Характеристики гидрофобизаторов на основе полиметилсилоксана

№ п/п	Показатель	ПМС-100	ПМС-50	ПМС-40
1	Вязкость кинематическая при $+20^\circ\text{C}$ , $\text{м}^2/\text{с}$	$(95-105) \cdot 10^{-6}$	$(45-55) \cdot 10^{-6}$	$(36-44) \cdot 10^{-6}$
2	Температура вспышки в открытом тигле, $^\circ\text{C}$ , не ниже	305	220	200
3	Плотность при $20^\circ\text{C}$ , $\text{г}/\text{см}^3$	0,91 - 0,98	0,91 - 0,98	0,91 - 0,98