

## СОПРОТИВЛЕНИЕ МОРОЗНОМУ РАЗРУШЕНИЮ БЕТОНОВ ДЛЯ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ

**Выровой В.Н., д.т.н., проф., Суханов В.Г., д.т.н, проф.,  
Коробко О.А., к.т.н., доц., Загорчменная Н.О., к.т.н., доц.,  
Непомнящий А.Н., аспирант**

*Одесская государственная академия  
строительства и архитектуры, Украина*

### **Введение**

Посуточный анализ температурных изменений на юге Украины и, в частности, в Одесском регионе, показал, что в осенне-зимний период происходит 50-120 переходов температуры от положительных до отрицательных значений [1, 2]. Это предполагает, что строительные конструкции, включая бетонные дорожные покрытия, могут претерпевать в течение года до 120-ти циклов попеременного замораживания и оттаивания, что может быть причиной преждевременного их выхода из функционального состояния.

Многолетний опыт изучения поведения капиллярно-пористых тел, к которым отнесены бетоны, позволил исследователям предложить следующие гипотезы, описывающие причины и механизмы снижения морозостойкости при замерзании воды в поровом пространстве: развивающееся гидравлическое давление и давление кристаллизации, проявление капиллярных эффектов и осмотических явлений; термодинамический характер проявления поверхностных сил, различие коэффициентов термического расширения льда и цементного камня, влияние послойного замерзания и различие коэффициентов термического расширения компонентов бетона [3, 4, 5, 6].

В работах [7, 8] предложены модели бетона, в структуру которого входят технологические трещины (ТТ) и внутренние поверхности раздела (ВПП), присутствующие на всех уровнях структурных неоднородностей. ТТ и ВПП отнесены к активным элементам структуры, которые адекватно реагируют на внешние воздействия. Набор ТТ и ВПП определяет поврежденность бетона наследственными дефектами и предопределяет изменение его поврежденности в условиях попеременного замораживания и оттаивания. Это позволяет отнести поврежденность бетона к управляющему фактору, влияющему на изменение его морозостойкости, что позволило определить задачу

исследований – повысить сопротивление морозному разрушению бетона для дорожных покрытий путем регулирования его начальной (технологической, наследственной, исходной) поврежденностью.

### **Анализ механизмов развития трещин при замерзании в их объеме воды.**

При анализе примем, что в структуре бетона присутствуют клиноподобные прямолинейные и криволинейные трещины, в части объема которых вода может находиться в свободном состоянии. Это предполагает что при снижении температуры  $T \leq 0^\circ\text{C}$  свободная вода переходит в твердое состояние с увеличением объема до 9%, а клиноподобная форма вызывает распределение воды по формам связи с поверхностью вдоль берегов трещин.

Замерзание свободной воды провоцирует возникновение давления на берега клиновидной трещины, что ведет к увеличению ширины ее раскрытия (рис.1, а). Раздвижка берегов обуславливает увеличение внутреннего объема трещины. В свою очередь, увеличение объема ведет к пропорциональному снижению давления в объеме трещины. Снижение давления инициирует подпитку влаги из окружающего материала и вызывает развитие внешнего давления на берега трещины по схеме, представленной на рис.1, б, в.

Изменение геометрических параметров трещины может происходить по схеме (рис.1, б), при которой длина трещины не изменяется. При этом могут возникнуть новые трещины на границе раздела между объемами, заполненными льдом и свободными ото льда, за счет деформаций сдвига. Новые трещины на берегах старых могут возникать и при увеличении длины трещины (рис.1, в).

Анализ поверхности образцов, на которой были зафиксированы ТТ и ВПР, показал, что клиновидных трещин практически нет. Как правило, траектория технологических трещин достаточно сложная. Криволинейность ТТ связана, по нашему мнению, с кластерной организацией структуры строительных материалов (блочностью). Это ставит задачу анализа механизмов, протекающих в криволинейной трещине при замерзании в ее объеме свободной воды. Модель и параметры плоской криволинейной трещины в виде ломаной линии представлены на рис.2.

При анализе примем, что в криволинейной трещине по длине берегов происходит изменение форм связи воды. При этом в зоне наибольшей ширины раскрытия вода может находиться в свободном виде. Это предполагает, что в случае снижения температуры до значений  $T < 0^\circ\text{C}$  происходит переход воды в твердое состояние при незамерзшей остальной ее части в трещине.

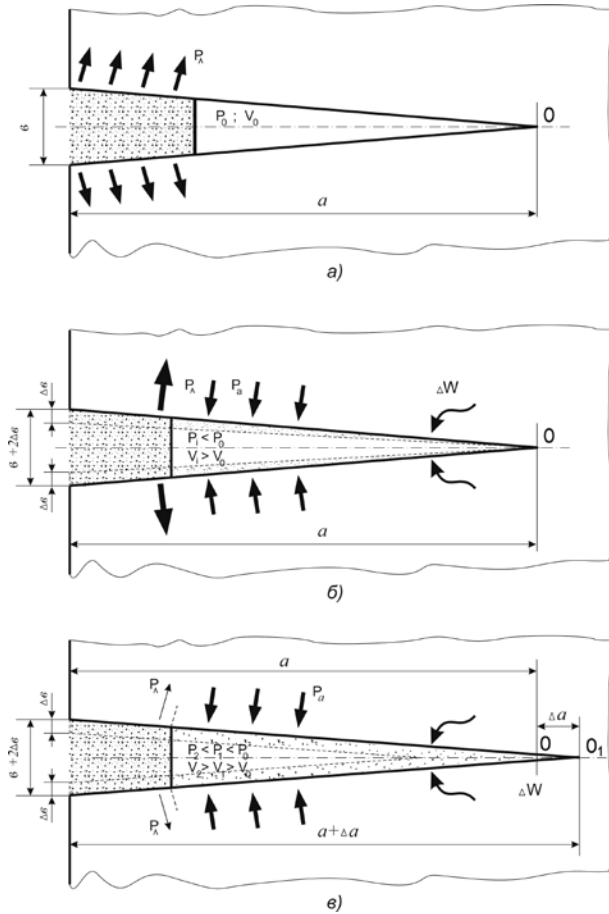


Рис.1. Механизм развития трещин при замораживании и оттаивании материалов:  
 а – технологическая трещина, заполненная замерзающей водой; б – изменение ширины раскрытия трещины при замораживании воды; в – изменение геометрических параметров трещины при увеличении объема замерзающей воды

Следует отметить, что даже при такой начальной ширине трещины, когда вода находится в связанном (полиадсорбционном) состоянии, именно в зоне максимальной ширины раскрытия будет происходить фазовый переход воды, в отличие от других участков трещины в случае ее сужения к устью. Будет изменяться температура фазового перехода без заметного изменения механизмов, которые возникают при таком переходе.

Примем, что при снижении температуры ниже  $0^{\circ}\text{C}$  лед образуется на участке АВ криволинейной трещины (рис.2).

Объемное давление льда передается на часть берегов криволинейной трещины. Это вызывает увеличение ширины раскрытия трещины на величину  $2\Delta B$  (рис.2, б). В силу криволинейности берегов давление  $P_1$  на материал передается неравномерно. В зоне внешнего излома берега возникают соответствующие разнонаправленные деформации. Если предположить, что длина каждого участка берегов криволинейной трещины не изменяется, то в зоне разнонаправленного действия давлений может произойти нарушение целостности материала и образование эксплуатационной трещины ЭТ<sub>1</sub>.

Увеличение ширины раскрытия трещины вызывает увеличение ее объема до  $V_1$ . При этом увеличение объема может произойти только на участке ВБ. Это способствует снижению внутреннего давления во всем объеме трещины до значений  $P_1$ . Такая ситуация возможна, если предположить, что на участке ВБ в зонах изменения направления трещины возникнет шарнирное соединение, позволяющее осуществить поворот берегов на угол  $\alpha$ .

Снижение внутреннего давления вызывает миграцию влаги из окружающего материала по всей длине трещины. Градиент давлений ( $P_1 < P_a$ , где  $P_a$  – атмосферное давление) может спровоцировать развитие напряжений сдвига по границе раздела «лед-вода», что приведет к образованию эксплуатационной трещины ЭТ<sub>4</sub> (рис.2, в).

В случае, если происходит увеличение ширины трещины по всей длине, внутреннее давление еще больше снижается, увеличивая тем самым величину напряжений сдвига на границе раздела «лед-вода». Это может вызвать образование ЭТ<sub>4</sub>. Кроме того, разнонаправленные деформации берегов криволинейной трещины, при сохранении длины каждого участка берегов, могут привести к образованию ЭТ<sub>2</sub> и ЭТ<sub>3</sub> по предложенной схеме (рис.2, в).

Увеличение ширины раскрытия берегов по длине криволинейной трещины вызывает развитие деформаций и напряжений растяжения у устья.

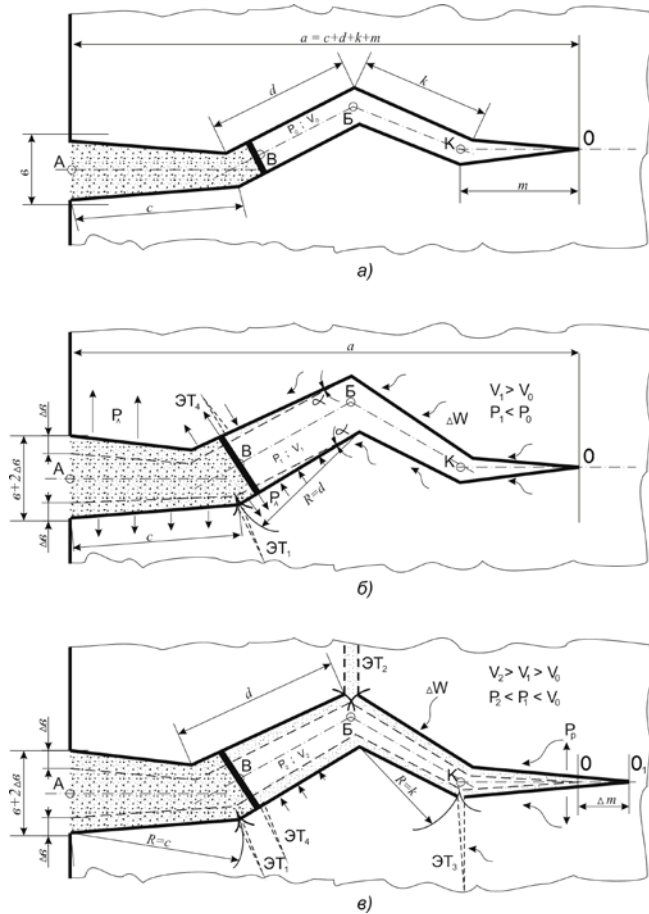


Рис.2. Механизм изменения параметров криволинейной трещины при замерзании в ее объеме свободной воды:  
 а – параметры начальной трещины; б – изменение ширины раскрытия трещины; в – изменение геометрических параметров трещины при замерзании в ее объеме свободной воды

С учетом проявления «эффектов Ребиндера», эти деформации и напряжения могут инициировать увеличение длины трещины на величину  $\Delta l$ .

Проведенный анализ показывает, что при замерзании воды в объеме трещин (прямолинейной клиновидной и криволинейной) происходит изменение их геометрических характеристик. При этом могут образовываться новые ЭТ на берегах начальных трещин в зоне границ раздела «лед-вода» и в зонах изменения направления траектории криволинейных трещин, а также может происходить увеличение длины начальных трещин. Совокупность этих процессов вызывает изменение поврежденности материала эксплуатационными трещинами, что должно сказаться на способности материала сопротивляться попеременному замораживанию и оттаиванию.

Для подтверждения предложенных механизмов изменения поврежденности бетонов при замораживании и оттаивании были проведены специальные опыты.

Замораживание и оттаивание проводили по ускоренной методике. Поврежденность образцов определяли через каждые 5 циклов при общем количестве циклов – 30. Поврежденность оценивали путем определения  $K_p = \Sigma L / S$ , где  $\Sigma L$  – суммарная длина трещин на площади  $S$ . Результаты приведены на рис.3.

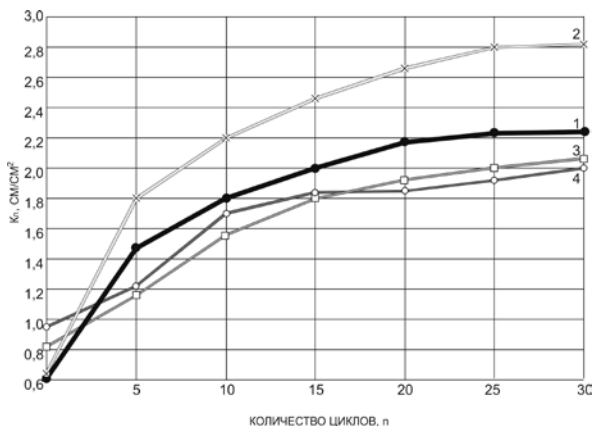


Рис.3. Влияние замораживания и оттаивания на изменение поврежденности цементных композиций:  
 1 – цементный камень; 2 –  $H=20\%$ ,  $S_y=500 \text{ м}^2/\text{кг}$ ;  
 3 –  $H=20\%$ ,  $S_y=100 \text{ м}^2/\text{кг}$ ; 4 –  $H=20\%$ ,  $S_y=100 \text{ м}^2/\text{кг}$ ,  
 С-3=0,5% по массе.

Анализ показал, что с увеличением количества циклов замораживания и оттаивания поврежденность образцов из цементного камня с наполнителями различного качественного ( $S_y$ ) и количественного ( $N$ ) составов возрастает. Коэффициент поврежденности цементного камня после 5-ти циклов замораживания и оттаивания увеличился в 2,3 раза. После 30 циклов значения  $K_p$  цементного камня повысились в 3,7 раза. Применение наполнителей с  $S_y=500$  м<sup>2</sup>/кг привело к повышению  $K_p$  после 30-ти циклов в 4,6 раза. При использовании наполнителей с  $S_y=100$  м<sup>2</sup>/кг и суперпластификатора С-3 величина  $K_p$  возросла после 30-ти циклов в среднем в 2,5 раза, что в 1,8 раза меньше, чем для цементного камня с наполнителями с  $S_y=500$  м<sup>2</sup>/кг. Обращает на себя внимание влияние начальной поврежденности на последующее накопление ЭТ при увеличении количества циклов замораживания и оттаивания. Результаты показали, что накопление эксплуатационных трещин при замораживании и оттаивании зависит от удельной поверхности минеральных наполнителей и от использования С-3, что позволило снизить начальное водоцементное отношение с  $В/Ц=0,28$  до  $В/Ц=0,26$ .

Анализ экспериментальных результатов подтвердил факт изменения поврежденности цементного камня и бетонов при их многократном замораживании и оттаивании.

### ***Выводы***

При замерзании воды в объеме прямолинейной клиновидной и криволинейной трещин должно произойти изменение их геометрических параметров и образование трещин эксплуатации. Это в свою очередь приводит к изменению поврежденности строительных композитов при их попеременном замораживании и оттаивании и оказывает влияние на сопротивление бетонов морозному разрушению.

### **Summary**

**In the article are analysed the mechanisms of development of cracks during the freezing water in them. The change of damaged of cement stone and concrete is studied at their alternate freezing and thawing and it is experimentally confirmed that the change of damaged depends on initial parameters of technological cracks and inner surfaces of partition, which, in same queue, is determined on quantity and specific surface of fillings.**

## *Литература*

1. Справочник по климату СССР. – Л.: Гидрометиздат, 1967. – Вып. 10. – Ч.4. – 696 с.
2. Литвиненко А.С. Исследование цикличности погодноклиматических условий Украины в связи с прогнозированием влияния опасных природных явлений на состояние автомобильных дорог / А.С. Литвиненко // Дороги, мосты. – Вып.5. – 2005. – С. 74-90.
3. Гусев Б.В. К построению общей теории морозостойкости бетона / Б.В. Гусев, А.С. Файвусович // Збірник наукових праць ЛНАУ. – 2004. – Вип. 40(52). – С. 286-298.
4. Добшиц Л.М. Получение бетонов повышенной долговечности для транспортных, промышленных и гражданских сооружений / Л.М. Добшиц // Проблемы долговечности зданий и сооружений в современном строительстве. – 2007. – С. 25-28.
5. Кунцевич О.В. Бетоны высокой морозостойкости для Крайнего Севера / Кунцевич О.В. – Л.: Стройиздат, 1983. – 132 с.
6. Подвальный А.М. О концепции обеспечения морозостойкости бетона в конструкциях зданий и сооружений / А.М. Подвальный // Строительные материалы. – 2004. – Вып.6. – С. 4-6.
7. Композиционные строительные материалы и конструкции сниженной материалоемкости / [Соломатов В.И., Выровой В.Н., Дорофеев В.С., Сиренко А.В.]. – К.: Будівельник, 1991. – 144 с.  
Выровой В.Н. Композиционные строительные материалы и конструкции. Структура, самоорганизация, свойства / Выровой В.Н., Дорофеев В.С., Суханов В.Г. – Одесса: Изд-во «ТЭС», 2010. – 169с.