

**ИЗМЕНЕНИЕ ПОВРЕЖДЕННОСТИ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ В УСЛОВИЯХ МНОГОКРАТНОГО УВЛАЖНЕНИЯ И ВЫСУШИВАНИЯ**

**Сильченко С.В., Выровой В.Н., Резникова Л.И., Дорофеев А.В.**  
(Одесская государственная академия строительства и архитектуры)

Рассмотрены вопросы влияния многократного увлажнения и высушивания на изменение поврежденности цементного камня с различными количеством и удельной поверхностью кварцевых наполнителей. Показано, что изменение эксплуатационной поврежденности связано с количеством и характером распределения начальных (технологических) трещин и внутренних поверхностей раздела. Так как технологическая поврежденность в значительной мере определяется, при прочих равных условиях, составом наполнителей, то, изменяя состав наполнителей, можно регулировать начальными трещинами и, тем самым, изменять характер развития эксплуатационных трещин цементного камня в условиях знакопеременных влажностных деформаций.

**Введение.**

Проведенный анализ работ предшественников позволил заключить, что в образцах из цементного камня возникают и развиваются при многократном увлажнении и высушивании локальные и интегральные объемные деформации. Локальные деформации проявляются на берегах технологических трещин и внутренних поверхностях раздела и могут вызвать их подрастание и объединение, что должно сказаться на изменении общей поврежденности цементного камня. В общем случае под внутренними поверхностями раздела (ВПР) понимают границы раздела между структурными блоками (агрегатами, кластерами), которые возникают в период спонтанной организации структуры на различных уровнях структурных неоднородностей, а также противоположные берега технологических трещин [1]. Под технологическими (начальными, наследственными) трещинами понимают трещины, возникающие в материале в период его становления и технологической переработки в изделие и которые присутствуют в материале изделия до приложения к нему эксплуатационных нагрузок [1, 2, 3].

Распределение интегральных знакопеременных деформаций зависит от геометрических характеристик образца. Величина деформаций определяется начальным составом цементных композиций (в нашем случае – количеством и тониной помола кварцевых наполнителей). Распределение локальных и интегральных деформаций, вызывая изменения поврежденности материала, должно само изменяться от цикла к циклу. В свою очередь, изменения поврежденности определенным образом характеризует изменение структуры материала при действии на него малоцикловых усталостных нагрузок. Можно предположить, что структурные изменения (поврежденность), которые возникают в результате знакопеременных деформаций, в значительной степени предопределяются начальной (технологической, наследственной) поврежденностью. Поэтому была определена задача исследований – изучение влияния наполнителей на изменение поврежденности цементного камня при его многократном увлажнении и высушивании.

#### **Экспериментальные работы и их интерпретация.**

Увлажнение и высушивание проводили по следующему режиму: - увлажнение в питьевой воде в течение 8 часов; - сушка при  $T=100^{\circ}\text{C}$  -16 часов. Испытание образцов проводили через 25, 50 и 100 циклов. При этом контролировали прочность при сжатии, прочность на растяжение при изгибе, вязкость разрушения образцов с различными способами инициирования начальной трещины, поврежденность. Методика определения поврежденности,  $\Pi$ , заключалась в определении кратчайшего расстояния между началом и концом трещины разрушения,  $L$ , и ее фактической длины,  $L_p$ . Количественно поврежденность выражалась отношением  $\Pi=L/L_p$ .

При многократном увлажнении и высушивании происходит взаимодействие структурных блоков через внутренние поверхности раздела и берега технологических трещин. Проведенные экспериментальные исследования показали, что численные значения коэффициента поврежденности  $K_n$  могут изменяться по характерным зависимостям, рис. 1.

С увеличением количества циклов увлажнения и высушивания  $K_n$  может монотонно снижаться (кривая 1, рис.1). Это может свидетельствовать о развитии технологических трещин в трещины эксплуатации с образованием достаточно крупных структурных блоков. Свидетельством этого может быть характер разрушения образца после 100 циклов увлажнения и высушивания, рис.2, а.

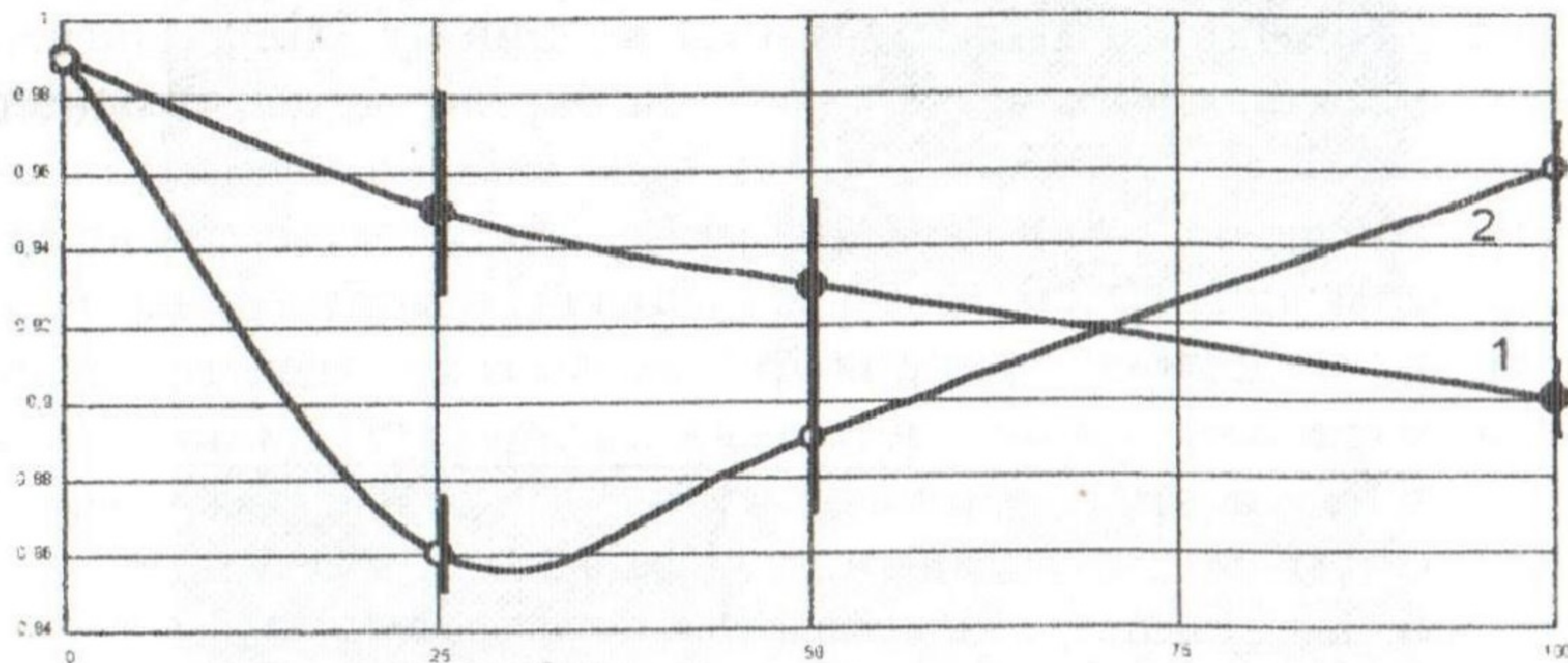


Рис. 1. Влияние многократных влажностных деформаций на изменение коэффициента поврежденности цементного камня, содержащего 10% наполнителя по массе: 1 -  $S_y=500 \text{ м}^2/\text{кг}$ , 2 -  $S_y=100 \text{ м}^2/\text{кг}$ .

Резкое повышение поврежденности после начальных циклов увлажнения и высушивания вызывает снижение  $K_n$  с  $K_n=0,99$  до  $K_n=0,86$  (кривая 2, рис.1). Характер разрушения идентичен образцам кривой 1, рис.2, б. Дальнейшее повышение количества циклов до 50 и 100 ведет к повышению значений  $K_n$ . Это может быть связано с дроблением структурных блоков на более мелкие. Поэтому с увеличением количества ЭП на поверхности образца характер разрушения изменяется, рис. 2, в. Появляется микроизвилистость берегов трещин разрушения, что отражается на численных значениях  $K_n$  при принятой методике его количественного определения.

Для более полной оценки влияния наполнителей и количества циклов увлажнения и высушивания на изменение  $K_n$  были проведены эксперименты по плану «смесь-технология-свойства» [4]. В качестве независимых переменных приняты: количество наполнителей  $X_1=20\pm 10\%$ ; длина начальной трещины,  $X_2=1,4\pm 0,7 \text{ см}$ ; удельная поверхность наполнителей,  $X_3=300\pm 200 \text{ м}^2/\text{кг}$ .

После реализации всех строчек плана были получены значения поврежденности после твердения в естественных условиях в течении 200 суток ( $\Pi_{200}$ ); 360 суток ( $\Pi_{360}$ ) и после 25 ( $\Pi_{25}$ ), 50 ( $\Pi_{50}$ ) и 100 ( $\Pi_{100}$ ) циклов увлажнения и высушивания.

В зависимости от количества и удельной поверхности наполнителей технологическая поврежденность может изменяться до 7% после твердения в естественных условиях в течении 200 суток и до 10% после 360 суток.

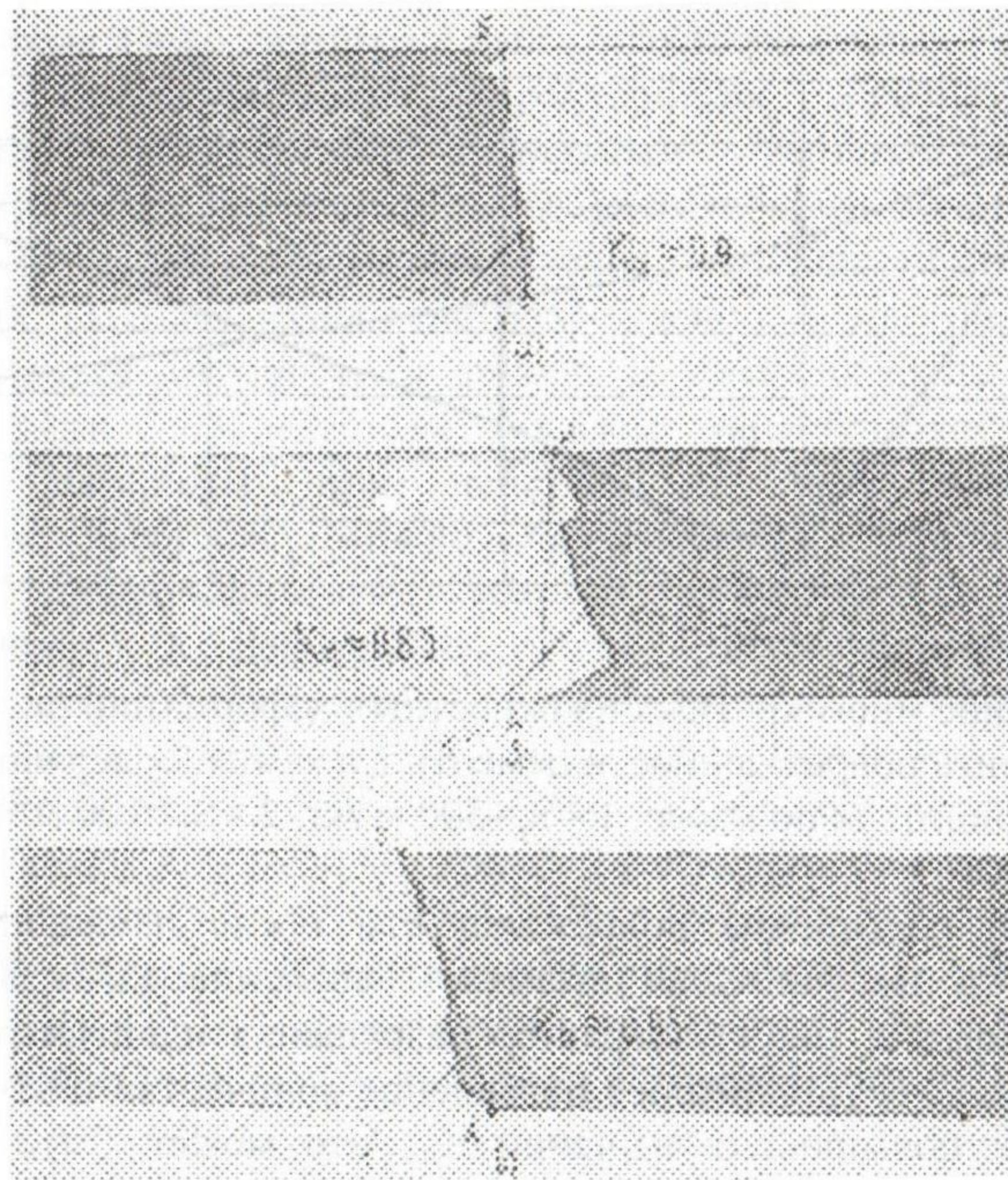


Рис.2. Характер разрушения образцов при их многократном увлажнении и высушивании:

а – после 50 циклов, б – после 25 циклов, в – после 100 циклов увлажнения и высушивания.

1 – трещины разрушения.

После первых 25 циклов увлажнения и высушивания различие между максимальными и минимальными значениями ЭП составляет 11%. Дальнейшее увеличение количества циклов ведет к градиентам ЭП до 10%. При этом максимальные значения ЭП не превышают  $ЭП=0,95$ , в то время, как до начала циклических значений  $П_{200}=0,99$  и  $П_{360}=1,00$ . Это говорит об увеличении поврежденности за счет подрастания технологических трещин и появления новых ВПР. Анализ поверхностных трещин показал, что, кроме развития технологических трещин в трещины эксплуатации, происходит дробление структурных блоков на более мелкие. Характер изменения ЭП показан на рис.3.

Дробление структурных блоков приводит к структурным изменениям отдельных блоков. Это ведет к качественным

структурным изменениям, при которых появляется новая сеть эксплуатационных трещин на уровне структурных блоков. Происходит изменение размера дискретных структур (изменение гетерогенности), что ведет к общему изменению поврежденности ЭП. Появление новых структурных элементов – эксплуатационных трещин, изменяет характер разрушения образцов. Трещины разрушения проходят не по границам раздела начальных структурных блоков, а по границам раздела новых структурных элементов. Микроизвилистость трещин разрушения изменяется, что, при принятых методах количественной оценки ЭП, ведет к кажущемуся снижению поврежденности при увеличении количества циклов увлажнения и высушивания от 50 до 100 циклов, рис.3.

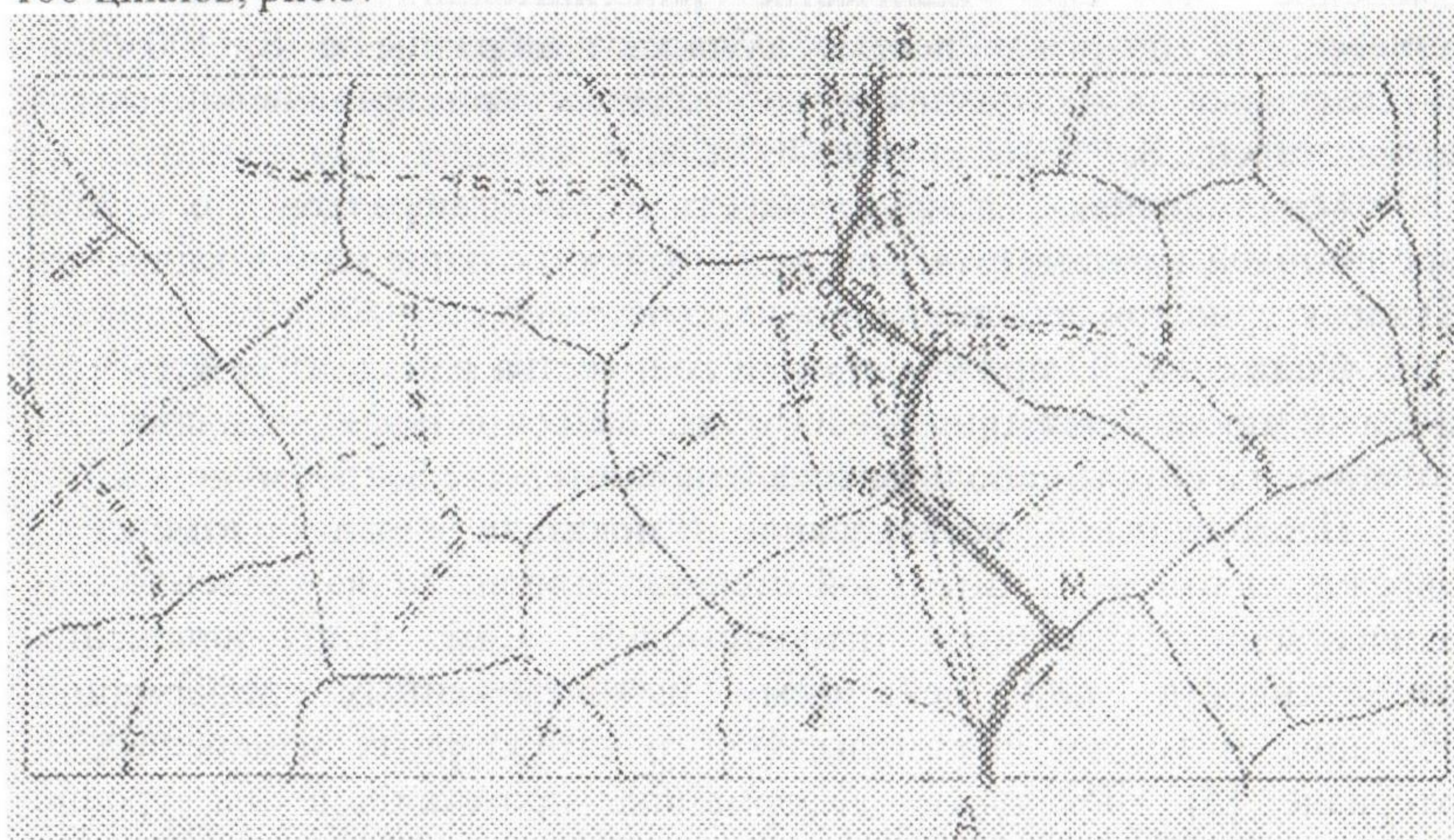


Рис.3. Характер изменения эксплуатационной поврежденности при многократном увлажнении и высушивании:

— - трещины после 25 циклов, - - - - - трещины после 50 циклов,  
 = = = = = трещины после 100 циклов.

$$K_n^{25}=0,8, K_n^{50}=0,92, K_n^{100}=0,96.$$

Развитие трещин эксплуатации зависит от качественного и количественного составов наполнителей.

Первые 25 циклов знакопеременных объемных деформаций практически нечувствительны к изменению поврежденности цементного камня с наполнителями при их количестве 20 и 30% по массе. Введение наполнителей до 10% по массе при  $S_y=300\text{м}^2/\text{кг}$  не вызывает изменения ЭП. Изменения удельной поверхности

наполнителей до  $S_y=100\text{м}^2/\text{кг}$  вызывает изменения поврежденности до 10%.

При увеличении количества циклов до 50 изменение ЭП определяется не столько количеством наполнителя, сколько его удельной поверхностью.

Максимальная поврежденность наблюдается при использовании наполнителей с удельной поверхностью  $S_1$  и  $S_2$  (состав наполнителей зависит от количества). Смесь наполнителей с  $S_1$  и  $S_2$  снижает поврежденность цементного камня.

Увеличение количества циклов до 100 еще больше проявляет влияние удельной поверхности наполнителей и их количества на изменение ЭП. При количестве наполнителей 10% по массе минимальной поврежденностью обладают образцы с  $S_y=100\text{м}^2/\text{кг}$ . Максимальная поврежденность наблюдается при применении смеси наполнителей с  $S_y=500\text{м}^2/\text{кг}$  и  $S_y=300\text{м}^2/\text{кг}$ .

Минимальная поврежденность для образцов с 20% наполнителей наблюдается при их  $S_y=100\text{м}^2/\text{кг}$ . При этом увеличение ЭП характерно при использовании наполнителей с  $S_y=500\text{м}^2/\text{кг}$ .

Снижение ЭП при увеличении количества наполнителей до 30% по массе происходит при  $S_y=300\text{м}^2/\text{кг}$ . Максимальная величина ЭП достигается в случае использования наполнителей с  $S_y=500\text{м}^2/\text{кг}$ .

Проведенные исследования показали, что изменение поврежденности в значительной степени зависит от качественного и количественного составов наполнителей. Сам факт изменения поврежденности под действием знакопеременных деформаций набухания и усадки свидетельствует о структурных изменениях в материале [5]. Локальные деформации, протекающие на уровне структурных блоков, вызывают подрастание технологических трещин до трещин эксплуатации. Взаимодействие структурных блоков через берега трещин и ВПР вызывает возникновение градиентов деформаций, которые способствуют дроблению начальных структурных элементов. Возникает новая сеть эксплуатационных трещин и ВПР, что ведет к очередным этапам распределения деформаций при увлажнении и высушивании. Таким образом, локальные деформации вызывают изменение поврежденности цементного камня при его многократном увлажнении и высушивании.

### **Заключение.**

Периодическое увлажнение и высушивание вызывает изменения поврежденности цементного камня, что свидетельствует о его структурных изменениях. Количественно оценить изменение

поврежденности можно через определение коэффициента поврежденности  $K_p$ .

Проведенные исследования показали, что управлять изменением поврежденности цементного камня можно путем изменения количественного и качественного составов минеральных наполнителей (в нашем случае – молотого кварцевого песка). Использование коэффициента поврежденности позволяет судить о локальных структурных изменениях цементного камня под действием внешних воздействий. Необратимое изменение структуры цементного камня за счет трансформации начальных трещин и ВПР в эксплуатационные и за счет появления новых трещин и ВПР должно привести к изменению механических характеристик и трещиностойкости цементного камня, эксплуатируемого в условиях температурно-влажностных градиентов. Инициатором изменения таких структурных параметров как эксплуатационные трещины и ВПР, оцениваемые через  $K_p$ , являются технологические трещины и внутренние поверхности раздела, количество и характер распределения которых зависит от состава наполнителей. Это дает основание заключить, что, управляя начальной поврежденностью цементного камня путем использования наполнителей рационального состава, можно изменять накопления повреждений и, тем самым, повышать стойкость цементных композиций в условиях многократного увлажнения и высушивания.

#### **Литература.**

1. Выровой В.Н., Дорофеев В.С., Фиц С.Б. Бетон в условиях ударных воздействий. – Одесса: Внешрекламсервис, 2004. – 270с.
2. Дорофеев В.С., Выровой В.Н. Технологическая поврежденность строительных материалов и конструкций. – Одесса: Город мастеров, 1998. – 165с.
3. Выровой В.Н., Довгань И.В., Семенова С.В. Особенности структурообразования и формирования свойств полимерных композиционных материалов. – Одесса: «ГЭС», 2004. – 168с.
4. Современные методы оптимизации композиционных материалов / Под ред. Вознесенского В.А. – Киев: Будівельник, 1983. - 144с.
5. Попов Н.А., Новский В.А. К вопросу об усталости бетона при многократных циклах чередующихся воздействий окружающей среды // Тр. кафедры строит. материалов МИСИ. – М., 1957. - №5. – С.73-91