

**Макарова С.С.** (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса)

## **МИНЕРАЛЬНЫЕ НАПОЛНИТЕЛИ В БЕТОНЕ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЕГО СТОЙКОСТЬ ПРИ МНОГОКРАТНОМ УВЛАЖНЕНИИ И ВЫСУШИВАНИИ**

**Приведены результаты исследований влияния наполнителей на стойкость бетона при его многократном увлажнении и высушивании.**

Увеличение или уменьшение объема бетона происходит при его эксплуатации в условиях периодического увлажнения или высушивания, или нагревания и охлаждении.

Большинство строительных конструкций эксплуатируются в зонах переменной влажности (причальные гидротехнические сооружения, опоры мостов и т.п.) или испытывают периодическое увлажнение и высушивание (наружные ограждения конструкции зданий и сооружений). Известно, что влажностные деформации примерно на порядок выше деформаций за счет термического расширения.

Изменение поврежденности бетонов при их многократном увлажнении и высушивании ставит задачу изучения влияния наполнителей, как структурных элементов в значительной степени определяющих их поврежденность технологическими дефектами на изменение основных свойств и стойкости бетонов.

Для изучения влияния увлажнения и высушивания были изготовлены образцы-призмы размером 70,5×70,5×280 мм. Опыты проводились по плану «смесь-технология-свойства».

В качестве независимых переменных приняты дисперсность наполнителя ( $S_y = 100, 200$  и  $300 \text{ м}^2/\text{кг}$ ), количество наполнителя  $10 \pm 5\%$  от массы цемента и расход цемента  $325 \pm 75 \text{ кг/м}^3$ . Расчет моделей и их графическое отражение проводилось в системе COMPEX.

Испытание образцов проходило в возрасте 540 суток. Увлажнение проводилось при полном погружении образцов в проточной воде в специальных емкостях в течении 12 часов. Высушивание бетона изучалось на тех же образцах при температуре  $70^\circ\text{C}$  в течении 12 часов с автоматическим режимом. Количество циклов увлажнения и высуши-

вания изменялось 80 и 110.

Образцы бетона, подверженные увлажнению и высушиванию, испытывались на осевое сжатие с целью изучения влияния указанных воздействий на прочность, деформативность, трещинообразование.

Контролировалась призмная прочность, модуль упругости и глубина карбонизации после 80 и 100 циклов увлажнения и высушивания.

Стойкость бетона оценивалась коэффициентом стойкости-отношения призмной прочности  $R_{bn}^N$  после определенного количества циклов к призмной прочности образцов, хранившихся в воздушно-сухих условиях в эквивалентном возрасте  $R_{bn}^K$ . Коэффициент стойкости  $K_{cm}^R = R_{bn}^N / R_{bn}^K$  и по отношению соответствующих модулей упругости  $K_{cm}^E = E_b^N / E_b^K$ .

Так как составы бетонов рекомендуются как для бетонных, так и для железобетонных изделий и конструкций, было принято решение об определении глубины карбонизации образцов  $l$  с целью оценки защитных свойств бетона после 110 циклов попеременного увлажнения и высушивания.

После реализации всех экспериментов по плану «смесь-технология-свойства» были получены математические модели, коэффициенты.

Знакопеременные деформации набухания и усадки изменяют поврежденность бетона, ведут к развитию трещин эксплуатации, что вызывает изменение физико-механических характеристик. Анализ литературных источников показал, что наиболее чувствительными показателями, изменяющимися при знакопеременных деформациях, являются прочность на растяжение при изгибе и модуль упругости. В нашем случае было принято оценивать стойкость бетона по изменению модуля упругости. Это связано также с тем, что модуль упругости  $E_b$  является основной характеристикой для расчета конструкций. Кроме того, как показали наши исследования деформативные характеристики могут изменяться при сохранении постоянной прочности при стадии, что по нашему мнению, зависит от количества наполнителя и его дисперсности.

Поэтому представляет интерес изучение характера изменения модуля упругости при многократном увлажнении и высушивании бетона с целью возможного прогноза поведения материала в конструкции, подвергаемой при эксплуатации знакопеременным влажностным деформациям.

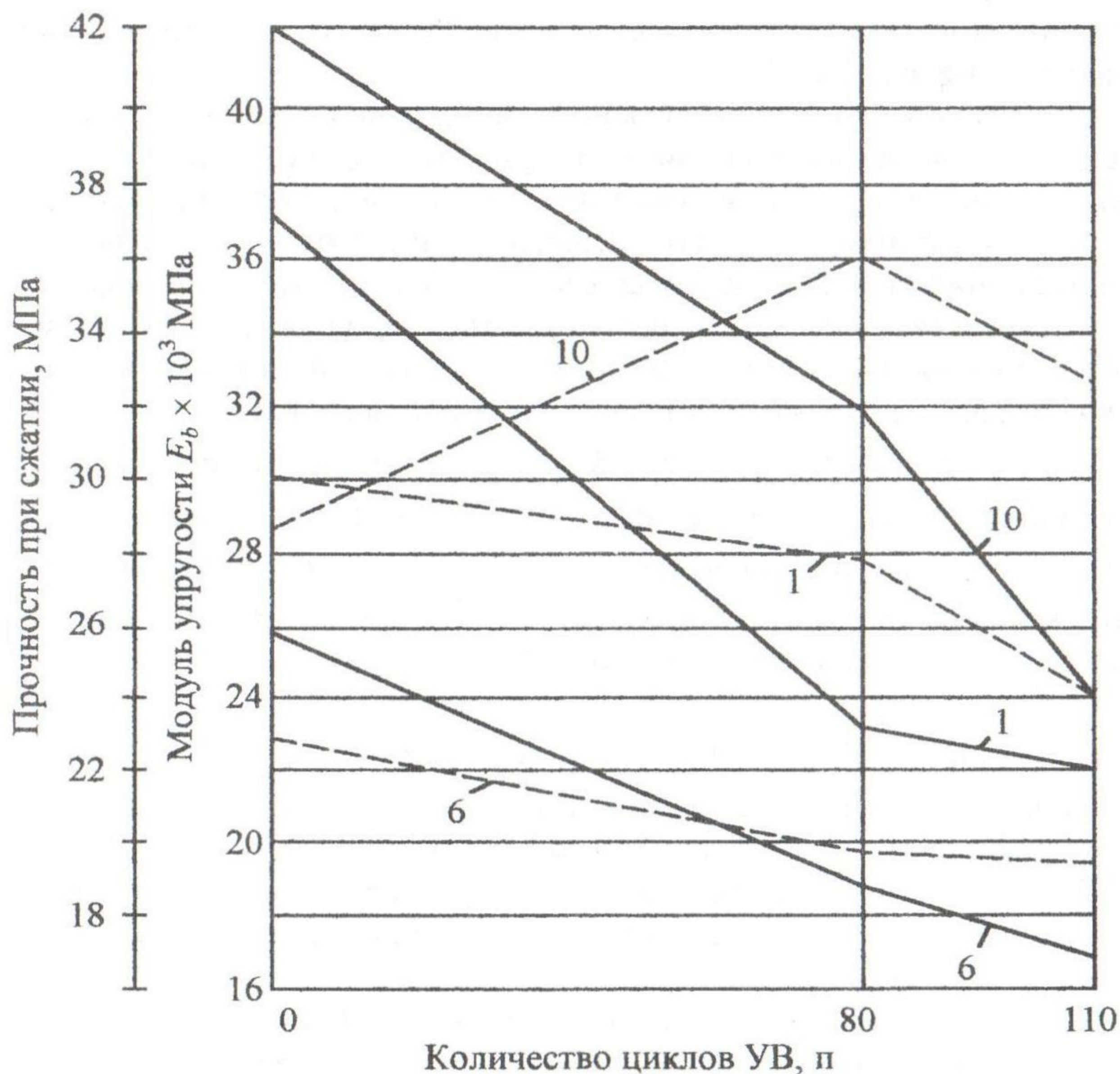


Рис. 1. Влияние количества циклов увлажнения и высушивания на изменение прочности и модуля упругости

1, 6, 10 – номера составов бетона с различным количеством и дисперсностью наполнителей

— изменение модуля упругости

--- изменение прочности

Состав 1: Ц = 250 кг/м<sup>3</sup>, П-645 кг, Щ = 1362 кг, В/Ц = 0,77, Наполнитель – 5% с  $S_y = 100$  м<sup>2</sup>/кг;

Состав 6: Ц = 250 кг/м<sup>3</sup>, П-645 кг, Щ = 1362 кг, В/Ц = 0,77, Наполнитель – 15% с  $S_y = 200$  м<sup>2</sup>/кг;

Состав 10: Ц = 325 кг/м<sup>3</sup>, П-608 кг, Щ = 1280 кг, В/Ц = 0,65, Наполнитель – 10% с  $S_y = 100$  м<sup>2</sup>/кг;

С увеличением количества циклов увлажнения и высушивания происходит изменение прочностных и деформативных показателей, что видно из графика (рис. 1).

На начальных этапах наблюдается повышение прочностных характеристик, даже при наличии видимого разрушения бетона (шелушения, сколы углов). Специалисты связывают это с продолжающимися процессами гидратации вяжущего, повышение плотности бетона за счет коагуляции пор и капилляров солями, растворенными в воде как среде увлажнения, частичной карбонатизации, что приводит к уплотнению поверхности образцов. Дальнейшее увеличение количества циклов вызывает постепенное снижение прочностных показателей. Принято, что коэффициенты стойкости  $K_{cm}^R$  не должен быть менее 0,85.

На рис. 2 показано влияние количества и дисперсности наполнителя на стойкость бетона, оцениваемой по  $K_{cm}^R$ . Анализ показывает, что максимальной стойкостью обладают составы бетона при расходе цемента  $325 \text{ кг/м}^3$ , количества наполнителя 10% и дисперсности  $S_y = 100 \text{ м}^2/\text{кг}$ .

В заданных значениях  $K_{cm}^R$  находятся составы при 15% наполнителей, при этом их дисперсность должна состоять из смеси фракций с  $S_y = 100 \text{ м}^2/\text{кг}$  и  $S_y = 300 \text{ м}^2/\text{кг}$  в соотношении 1:1.

Повышение повреждаемости бетона вызывает заметное изменение его модуля упругости. Уже с первых циклов увлажнения и высушивания наблюдается снижение  $E_b$ , что видно из рис. 3. Для каждого состава бетона интенсивность снижения различная. Можно отметить, что характер снижения  $E_b$  такой же, как и характер изменения поврежденности. Это подтверждает ранее сделанный вывод о влиянии поврежденности на деформативные характеристики бетонов.

Анализ показывает, что для обеспечения  $K_{cm}^E \geq 0,7$  необходимо учитывать дисперсность наполнителей. На примере состава бетона с расходом цемента  $450 \text{ кг/м}^3$  и количестве наполнителей 15% и несоблюдении дисперсности наполнителей может привести к снижению стойкости с 0,79 до 0,56. Для принятия окончательного решения по назначению состава бетона, стойкого в условиях многократного увлажнения и высушивания, были наложены диаграммы  $K_{cm}^R$  и  $K_{cm}^E$ . Как показали исследования по карбонизации бетона, для всех составов глубина карбонизации не превышала 0,9 см, что обеспечивает сохранность арматуры (кроме бетонов гидротехнических сооружений).

Стойкость бетона  $K_{ст}^{R_{вп}}$  после 110 циклов  
увлажнения и высушивания

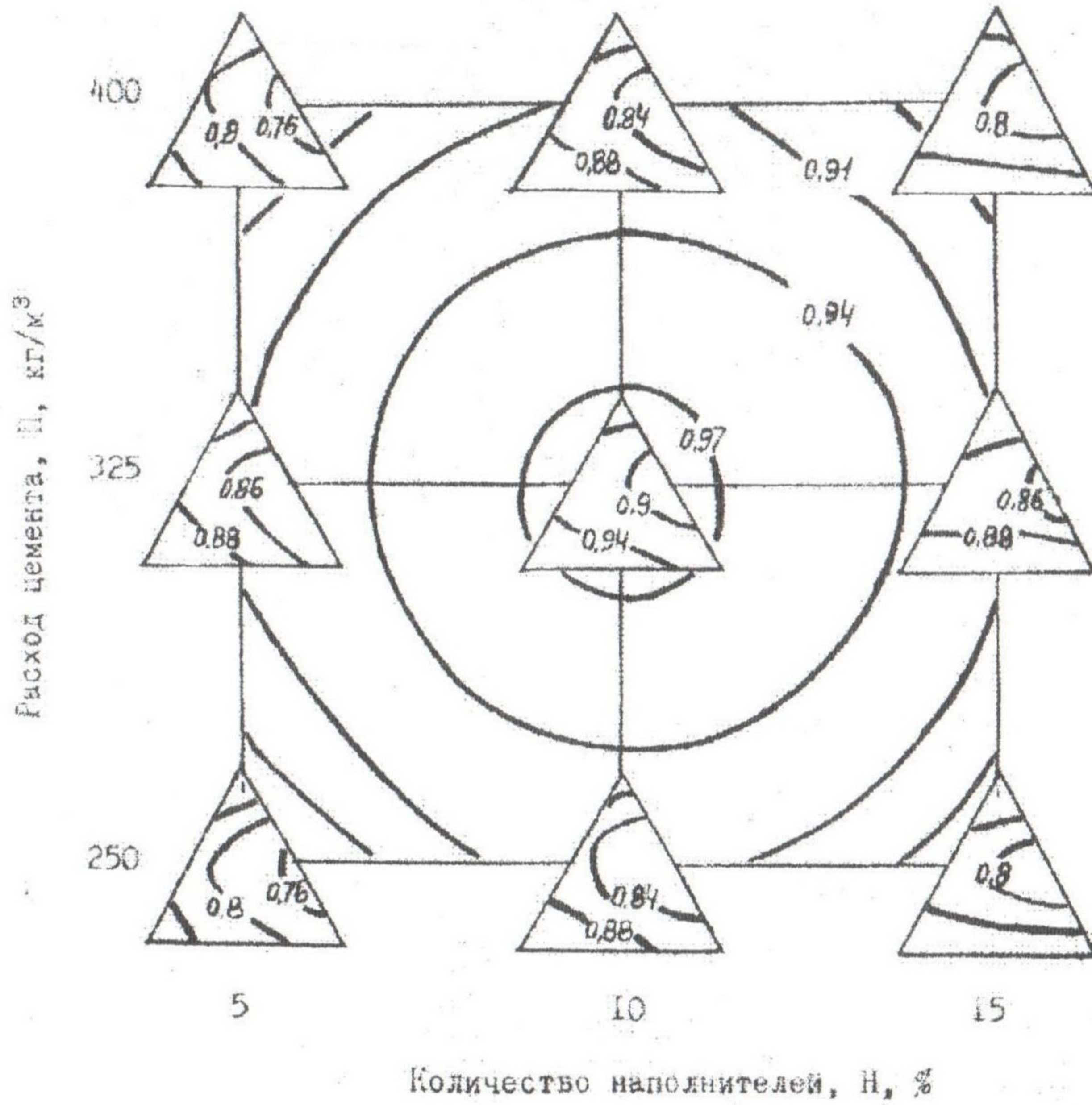


Рис. 2

Стойкость бетона  $K_{ст}^{ЕВ}$  после 110 циклов  
увлажнения и высушивания

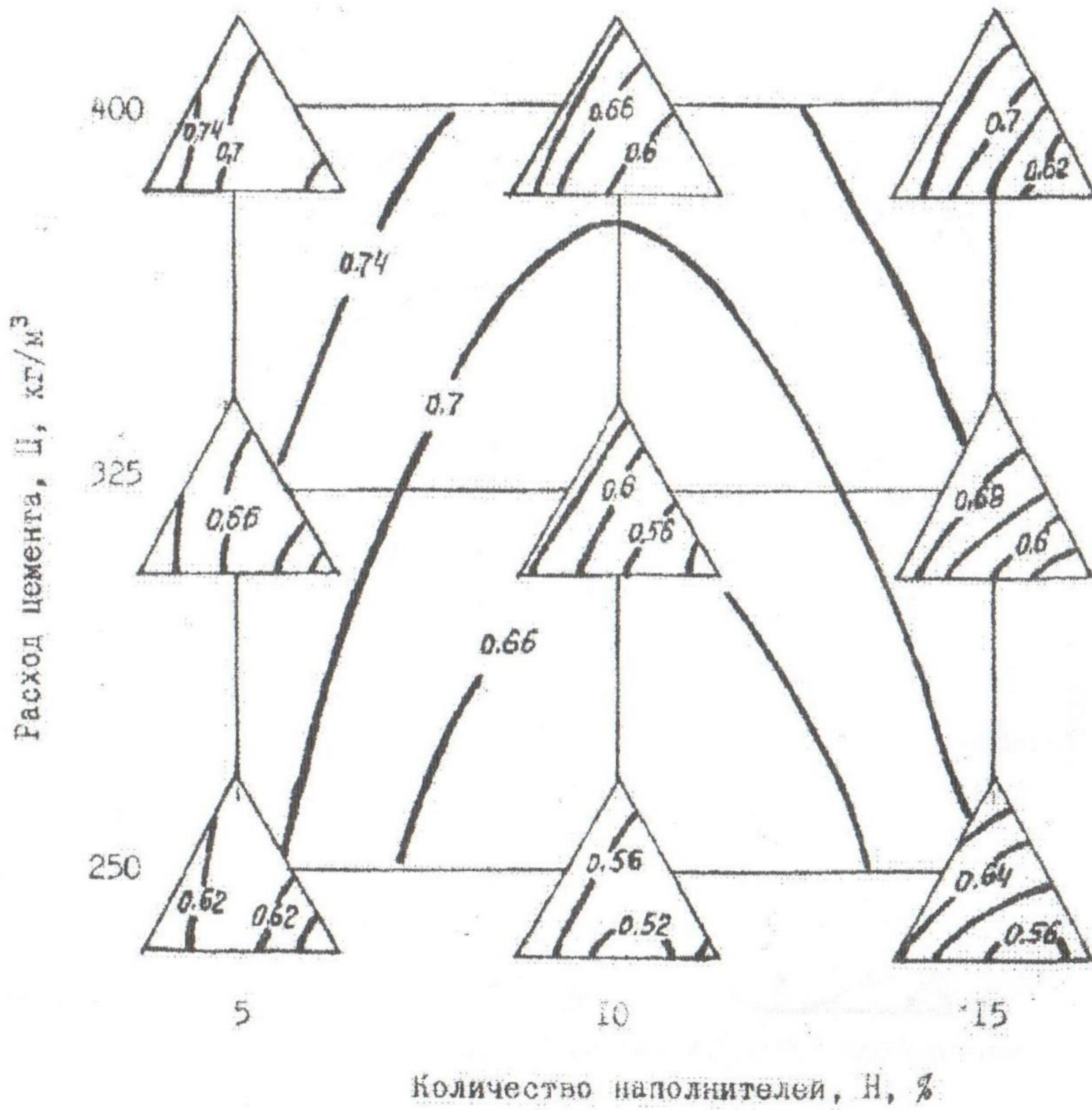


Рис. 3

Проведенные исследования позволяют сделать следующие

#### ВЫВОДЫ:

1. Знакопеременные деформации увлажнения и высушивания вызывают изменение прочностных и деформативных характеристик. Снижение модуля упругости бетона происходит более интенсивно, чем снижение призмочной прочности и, по характеру изменения, зависит от накопленных дефектов.
2. Применение оптимальной дисперсности наполнителей позволяет получать бетоны, стойкие в условиях многократного увлажнения и высушивания. Отклонение от оптимальной дисперсности, при одинаковом количестве цемента и наполнителей, ведет к снижению стойкости более чем на 40%.
3. При многократном увлажнении и высушивании бетона поврежденность микро и макроструктуры возрастает, что вызывает снижение стойкости бетона.

#### Литература

1. Александровский С.В. Набухание бетона при увлажнении // Бетон и железобетон – 1973, № 2 – С. 458-462.
2. Ахвердов И.Н., Скочеляс В.В. К расчету состава бетона по его модулю упругости // Докл. АН БССР – 1972 Т. XVII, № 2. С. 73-78.
3. Ахвердов И.Н., Станишевский И.В. Механизм разрушения пористых материалов при насыщении их солями // Докл. АН БССР – 1967 Т. XI, № 4. - С. 18-24.
4. Ашрабов А.А., Зайцев Ю.В. Элементы механики разрушения бетонов – Ташкент: Укитувичи, 1981 – 238 с.
5. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях – М: Финансы и статистика. 1981 – 263 с.
6. Выровой В.Н., Дорофеев В.С., Заволока М.В., Макаров С.С. Стойкость бетонов с минеральными наполнителями. Журнал «Строительные материалы и конструкции» № 2, Киев, 1994. С. 12-13.