

## **ФИБРОБЕТОНЫ ПОВЫШЕННОЙ МОРОЗОСТОЙКОСТИ, ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТИ И СТОЙКОСТИ К ДИНАМИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ**

**Гапоненко Е.А., Мишутин А.В.** *(Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса)*

**Разработаны оптимальные составы модифицированных фибробетонов повышенной водонепроницаемости, морозостойкости и стойкости к динамическим воздействиям для тонкостенных конструкций гидротехнических сооружений. Показано, что применение дисперсного армирования полимерной фиброй совместно с наполнителем (молотым песком) позволяет повысить прочность, морозостойкость, трещино- и ударостойкость композита.**

В современном гидротехническом строительстве все шире применяются тонкостенные железобетонные конструкции. К их очевидным преимуществам можно отнести низкую материалоемкость и простоту монтажа. Однако в сложных условиях эксплуатации для тонкостенных конструкций в большей мере, чем для массивных, актуальна проблема сохранения бетона под действием гидростатического давления, замораживания и оттаивания, а также динамических воздействий.

По этому целью нашей работы была разработка и оптимизация составов модифицированных мелкозернистых фибробетонов повышенной водонепроницаемости, морозостойкости и стойкости к динамическим воздействиям для тонкостенных конструкций гидротехнических сооружений.

Для повышения эксплуатационных свойств бетона применяются модификаторы разного назначения: пластификаторы, кольматирующие добавки и наполнители. Помимо того, для ответственных тонкостенных конструкций все шире применяется дисперсное армирование фиброй. В гидротехнических сооружениях ввиду эксплуатации в водной среде рекомендуется применять полимерную фибру, которая в отличие от металлической, не подвержена коррозии.

Изучалось влияние двух видов полипропиленовой фибры, и соответственно исследовались две серии образцов. В серии А использовалась фибра Fibermesh диаметром 200 мкм и длиной 13 мм, в серии В – фибра Baukon с диаметром 19 мкм и длиной 12 мм.

Варьировались следующие факторы состава:  $X_1$  - количество сульфатостойкого портландцемента, от 500 до 700 кг/м<sup>3</sup>;  $X_2$  - соотношения щебень/песок, от 1.6 до 2.2;  $X_3$  - количества наполнителя (молотого песка дисперсностью 3000 см<sup>2</sup>/гр), от 0 до 8% от массы цемента. В серии А:  $X_4$  - дозировка фибры Fibermesh, то 0 до 5 кг/м<sup>3</sup>. В серии В:  $X_5$  - дозировка фибры Baucon, от 0 до 1.2 кг/м<sup>3</sup>.

Во все смеси вводилась комплексная добавка (Пенетрон А + С-3), что выбрано с учетом результатов предыдущих исследований нашего научного коллектива [1,2]. Эксперименты проводятся по 18-ти точечным D-оптимальным планам. Все смеси имели равную подвижность ОК от 16 до 18 см.

Анализ водопотребности показал, что существенно на В/Ц смесей равной подвижности влияют количество цемента и в особенности полимерной фибры. Введение молотого песка в большей части факторного пространства повышает В/Ц. Ввиду большой водопотребности смеси при высоких дозировках фибры Fibermesh, что повлияло на все свойства композита, в дальнейшем анализе будем рассматривать фибробетоны с количеством фибры до 2.4 кг/м<sup>3</sup>.

Исследовались свойства материала в водонасыщенном и сухом состояниях. Анализ влияния варьируемых факторов состава на прочность при сжатии в водонасыщенном состоянии показал, что введение молотого песка положительно сказывается на данном показателе качества. При введении наполнителя прочность при сжатии увеличивается на 10-15 МПа независимо от вида фибры.

За счет введения около 1.2 кг фибры как Fibermesh, так и Baucon, на 0.5-1 МПа возрастает прочность на растяжение при изгибе в водонасыщенном состоянии, что объясняется армирующим действием волокон. Применение наполнителя и фибры также способствует повышению прочности на растяжение.

Анализ влияние свойств фибробетона в сухом состоянии показал, что варьируемые факторы оказывают на прочность материала в сухом состоянии влияние, аналогичное влиянию на прочностные характеристики в водонасыщенном состоянии.

Как отмечалось ранее, одной из основных задач нашей работы было изучение влияния состава модифицированного фибробетона на его водонепроницаемость (W) и морозостойкость (F). Все исследованные составы имели достаточно высокий уровень W, что обеспечивалось наличием в их составе комплексной добавки (Пенетрон + С-3). Наиболее высокую водонепроницаемость, до W20, показали составы с максимальным количеством наполнителя и 8% / Ц и высоким Ц/П (2,2). За счет введения наполнителя водонепроницаемость бетона возрастает в

среднем на 0,1 МПа. Это может быть объяснено улучшением капиллярно-поровой структуры композита. Армирование полимерной фиброй незначительно снижает водонепроницаемость бетона. По нашему мнению это объясняется формированием направленных капилляров вдоль волокон.

Для всех композитов была исследована морозостойкость ускоренным методом согласно с ДСТУ Б В.2.7-49-96. Влияние количества цемента, Щ/П, количества наполнителя и полимерной фибры на морозостойкость бетона серий А (фибра *Fibermesh*) и В (фибра *Baukon*) описывается соответствующими экспериментально-статистическими (ЭС) моделями ( $s_3=15$  циклов):

$$F_A (\text{циклы}) = 598.9 + 26.1x_1 + 13.5x_1^2 - 22.0x_2^2 - 11.1x_2x_3 + 8.5x_2x_4 + 32.7x_3 - 21.8x_3^2 + 8.1x_3x_4 + 21.6x_4 - 54.5x_4^2 \quad (1)$$

$$F_B (\text{циклы}) = 585.3 + 24.9x_1 + 6.2x_2 - 12.3x_2x_3 + 6.3x_2x_5 + 29.9x_3 - 25.9x_3^2 + 8.4x_3x_5 + 46.8x_5 - 19.0x_5^2 \quad (2)$$

Диаграммы, построенные по моделям (1) и (2) и отображающие влияние Щ/П отношения, количества фибры и наполнителя на морозостойкость бетона показаны на рис.1. Дозирования цемента, зафиксирована на уровне  $600 \text{ кг/м}^3$  ( $x_1 = 0$ ).

Анализ диаграмм позволяет отметить, что за счет введения наполнителя (молотого песка) морозостойкость композита увеличивается на 100 циклов практически не зависимо уровня других факторов. Наиболее же существенно, на 100-150 циклов, повышается морозостойкость за счет применения дисперсного армирования. Для составов с количеством фибры *Fibermesh* от 2 до  $2.4 \text{ кг/м}^3$ , как и для составов с количеством фибры *Baukon* от 1 до 1.2 уровень морозостойкости достигает марки F600 (при одновременном введении наполнителя). Положительное влияние фибры на морозостойкость композита объясняется армирующим эффектом ее волокон, воспринимающих напряжения в структуре при замораживании и оттаивании.

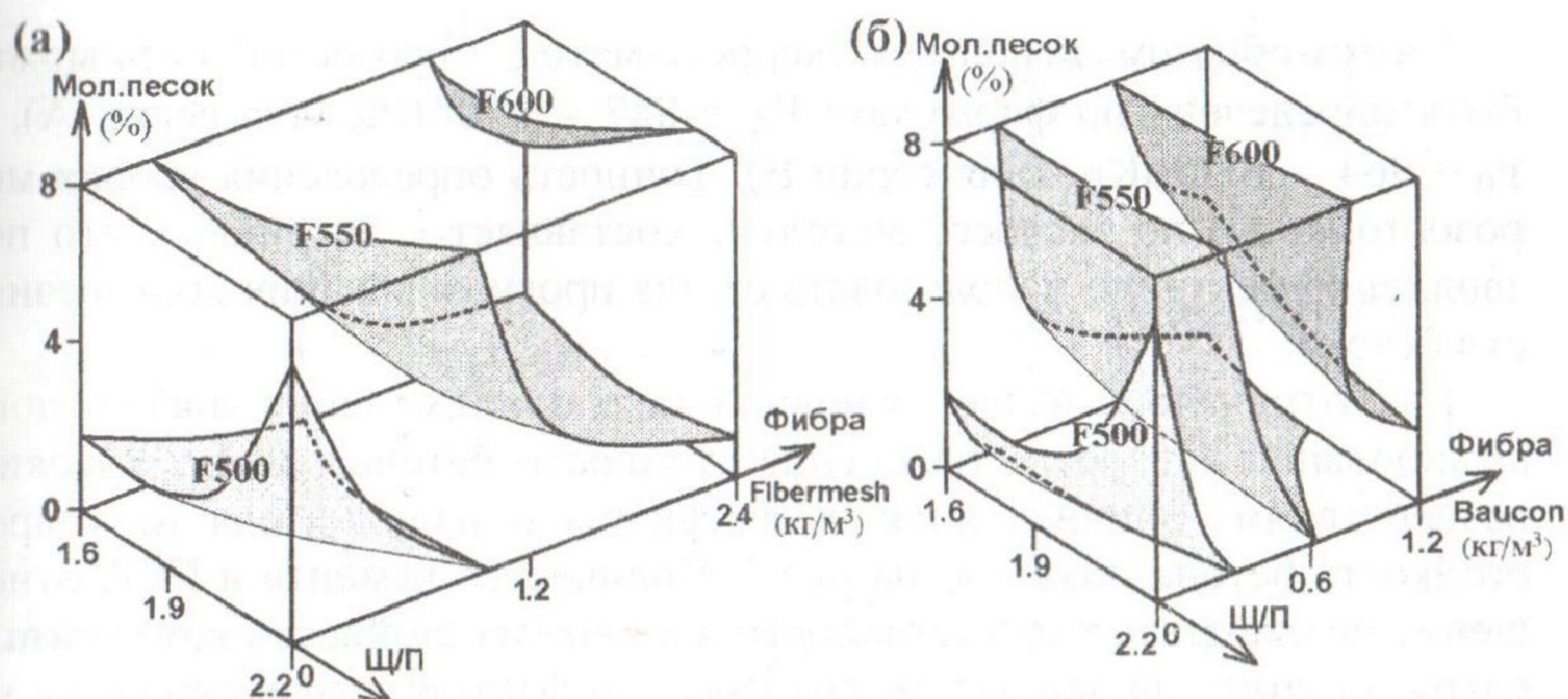


Рис.1. Влияние Щ/П отношения, количества наполнителя и фибры Fibermesh (а) и Baucon (б) на морозостойкость фибробетона, циклы

Морозостойкость также оценивалось по изменению поврежденности бетона при замораживании и оттаивании – экспресс методом, ранее разработанным и запатентованным [4] нашим научным коллективом.

Начальная технологическая поврежденность [5] всех составов колебалась в пределах  $2.01 - 2.54 \text{ см/см}^2$ . После проведения 5 циклов замораживания и оттаивания в соленой воде при температуре  $-50^\circ\text{C}$  поврежденность образцов увеличилась на величину от 0.33 до  $0.49 \text{ см/см}^2$ . Связь изменения поврежденности  $\Delta K_{ns}$  с морозостойкостью фибробетона показана на рис.2. Коэффициенты корреляции между данными величинами составляет  $r(F_A, \Delta K_{ns}) = -0.83$  для серии А и  $r(F_B, \Delta K_{ns}) = -0.81$  для серии В соответственно.

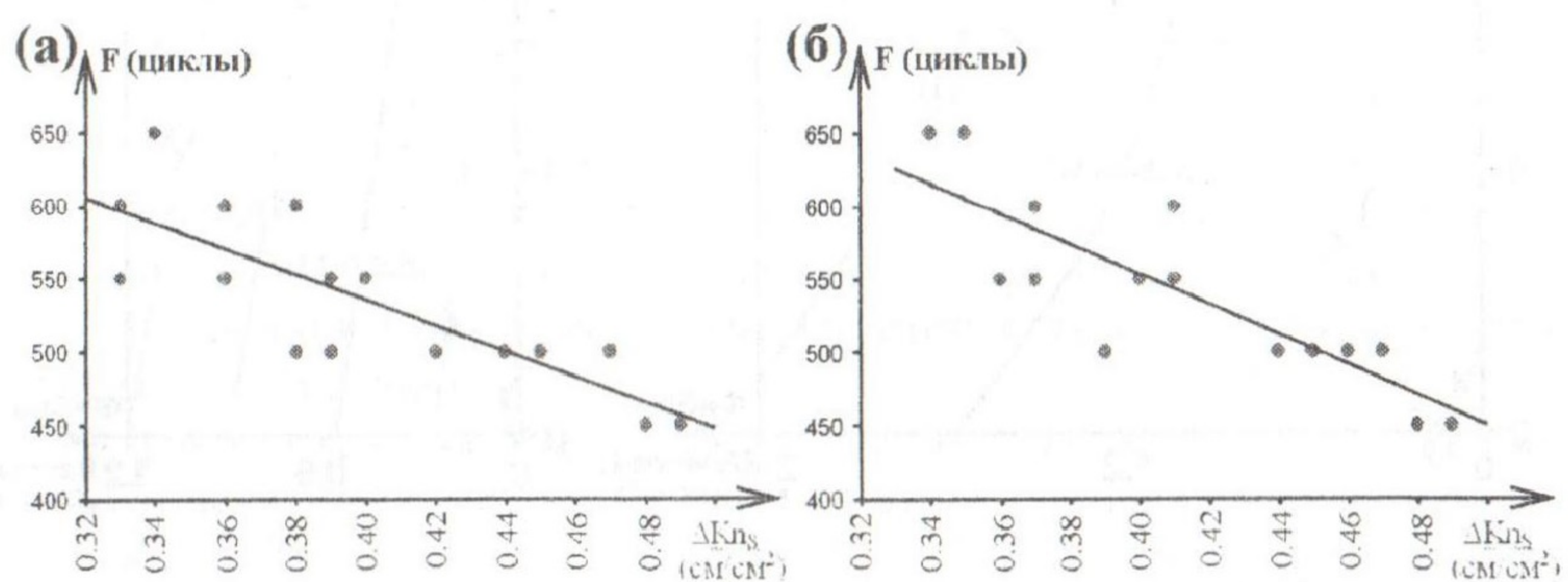


Рис 2. Связь изменения поврежденности  $\Delta K_{ns}$  при замораживании и оттаивании с морозостойкостью фибробетона (а – с фиброй Fibermesh, б – с фиброй Baucon)

Таким образом, используя экспресс-метод, морозостойкость может быть определена по формулам:  $F_A = 887 - 878\Delta K_{ns}$  (для серии А), и  $F_B = 964 - 1025\Delta K_{ns}$  (для серии В). Точность определения уровня морозостойкости по экспресс методике составляет  $\pm 50$  циклов, что позволяет эффективно использовать ее для прогнозирования долговечности бетона.

Как отмечалось выше, основной целью применения дисперсного армирования являлось повышение стойкости бетона к динамическим воздействиям. Влияние количества фибры и наполнителя на ударостойкость бетона показано на рис.3. Количество цемента и Щ/П отношение не оказывают существенного влияния на стойкость композита к удару, поэтому на данных диаграммах эти факторы зафиксированы на средних значениях. Можно сделать вывод, что наиболее эффективно повышается уровень ударостойкости при введении фибры. Наполнитель способствует дополнительному росту данного показателя качества. Всего за счет совместного применения фибры любого из видов и молотого песка уровень ударостойкости бетона повышается более чем в три раза.

Влияние количества фибры и наполнителя на трещиностойкость фибробетона показано на рис.4. Трещиностойкость оценивалась методами механики разрушений по уровню критического коэффициента интенсивности напряжений.

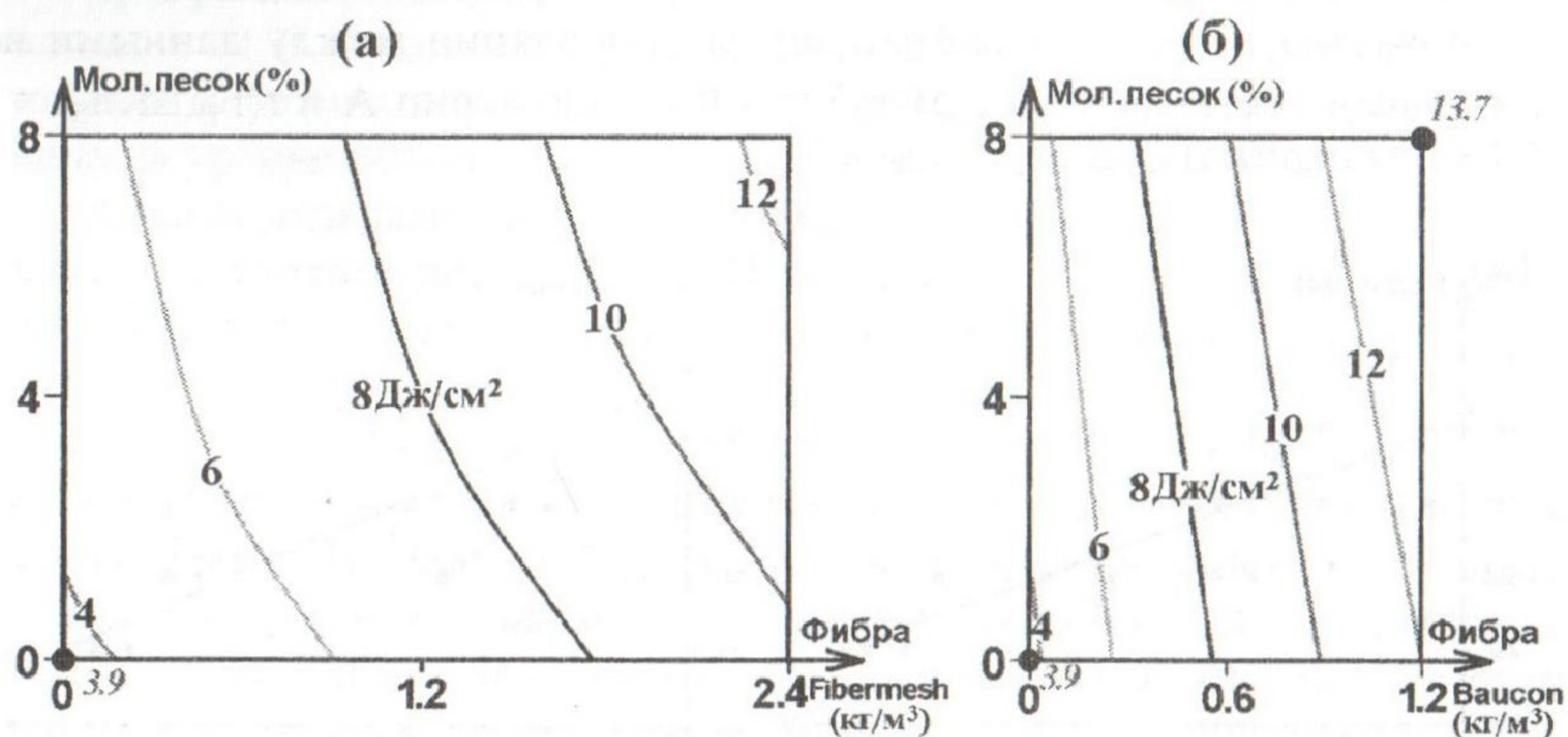


Рис.3. Влияние количества фибры и молотого песка на ударостойкость бетона, а - смеси с фиброй Fibermesh, б - смеси с фиброй Baucor (Дж/см²)

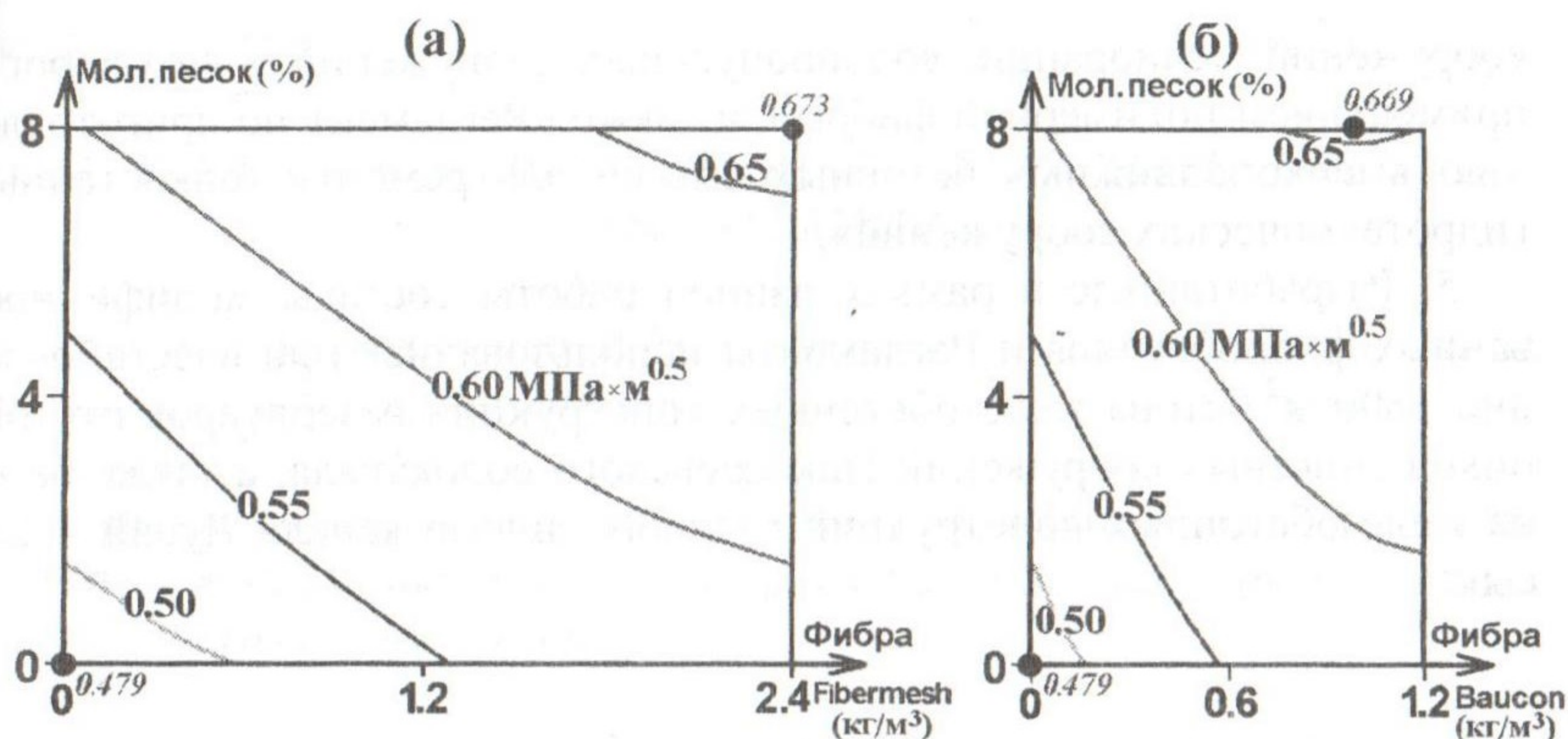


Рис.4. Влияние количества фибры и молотого песка на трещиностойкость (уровень критического коэффициента интенсивности напряжений) бетона, а - смеси с фиброй Fibermesh, б - смеси с фиброй Baucon ( $\text{МПа} \times \text{м}^{0.5}$ )

### Выводы

1. Можно сделать вывод, что за счет совместного применения фибры и молотого песка уровень трещиностойкости повышается примерно на 40%, что говорит об эффективности данного вида модификации для испытывающих динамическое воздействие тонкостенных конструкций.
2. За счет применения дисперсного армирования морозостойкость композита увеличивается на 100-150 циклов, при введении наполнителя на 100 циклов. Максимальная морозостойкость фибробетона превышает марку F600. Водонепроницаемость всех исследованных составов находится в пределах от W14 до W20. Применение фибры и молотого песка также позволяет повысить стойкость композита к динамическим воздействиям.
3. Таким образом, разработаны и рекомендованы к использованию в производственных условиях, оптимальные составы модифицированных мелкозернистых фибробетонов повышенной водонепроницаемости, морозостойкости и стойкости к динамическим воздействиям для тонкостенных конструкций гидротехнических сооружений.
4. Разработаны и утверждены «Регламент по технологии приготовления и применения модифицированного бетона для гидротехнических

сооружений мелиорации, водопропускных сооружений и автодорог с применением полимерной фибры», а также «Регламент по приготовлению высокоподвижных бетонных смесей для ремонта тонкостенных гидротехнических сооружений».

5. Разработанные в рамках данной работы составы модифицированных фибробетонов и Регламенты использовались при восстановлении 1800 м<sup>2</sup> бетона железобетонных конструкций резервуаров отстойников очистных сооружений Николаевского водоканала, а также бетона железобетонных конструкций главного шлюза канала Дунай – Сасык.

### *Литература*

1. Мішутін А.В., Кровяков С.О., Романов О.А. Вплив комплексної добавки суперпластифікатор С-3 + Пенетрон на властивості дрібнозернистого бетону // Дороги і мости. Випуск 6: Збірка наукових статей – Київ, 2006. – С. 257-266.

2. Дорофеев В.С., Мишутин А.В., Романов А.А. Бетонная смесь с добавками Пененторон А + С-3. Патент Украины № 19814, 2006.

3. Вознесенский В.А., Ляшенко Т.В., Огарков Б.Л. Численные методы решения строительно-технологических задач на ЭВМ. – К.: Вища школа, 1989. – 327 с.

4. Выровой В.Н., Дорофеев В.С., Мишутин А.В., Кровяков С.А. Метод ускоренного определения морозостойкости бетона. Патент Украины № 20590, 2007.

5. Дорофеев В.С., Выровой В.Н. Технологическая поврежденность строительных материалов и конструкций. – Одесса: ИМК Город мастеров, 1998. - 168 с.