

## ЦЕМЕНТНЫЕ КОМПОЗИЦИИ ДЛЯ РЕМОНТНЫХ И РЕСТАВРАЦИОННЫХ РАБОТ

**Коробко О.А., Лисенко В.А.** (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса).

**Определены оптимальные составы цементного вяжущего с кварцевыми наполнителями, обеспечивающие получение материалов с повышенной трещиностойкостью, которые рекомендуется использовать при ремонте и реконструкции зданий, сооружений и их комплексов, а также при реставрации памятников архитектуры.**

В настоящее время в строительной отрасли все большее развитие получают работы по ремонту, восстановлению и реконструкции промышленно-гражданских зданий и многочисленных инженерных сооружений различного функционального назначения (например, мостов, туннелей, бункеров, резервуаров, силосов, аэродромных и дорожных покрытий, т.д.). К материалам, используемым при проведении таких работ, в первую очередь предъявляют требования по адгезии к ремонтируемым поверхностям, физико-механическим характеристикам, морозостойкости, истираемости, ударной прочности, термическому расширению и стойкости к атмосферным и другим физико-химическим воздействиям. Все вышеуказанные свойства ремонтных композиций определяются их трещиностойкостью, обуславливающей поведение материалов в конструкциях, а значит и эксплуатационную надежность последних. Наиболее широко и успешно при ремонте, восстановлении и реконструкции зданий и сооружений применяют материалы на основе портландцемента, отличающихся хорошими адгезионными свойствами, устойчивостью к внешним механическим нагрузкам, влиянию физических факторов и воздействию окружающей среды. Повышение трещиностойкости цементных композиций позволяет улучшить их потенциальные "рабочие" качества, что, как следствие, отражается на долговечности и надежности сооружений, в которых они используются.

Распространенным и экономически выгодным способом управлять свойствами затвердевших цементных систем является введение в состав вяжущего минеральных наполнителей [1]. Частицы наполнителя в качестве одного из компонентов дисперсной фазы

участвуют в процессах структурообразования твердеющего цемента, вступая в различные взаимодействия с зернами вяжущего и, тем самым, определяя конечное строение, а значит и эксплуатационные показатели готового материала. Степень влияния наполнителей на структуру и свойства цементных композиций зависит от их поверхностной активности, удельной поверхности и количества [2]. Изменение качественных и количественных характеристик применяемых наполнителей отражается на организации структуры твердеющих систем, что позволяет получать материалы с заданными структурными параметрами и свойствами. Исходя из этого, была поставлена цель исследований – определение составов наполненных цементных композиций с максимально повышенной трещиностойкостью при требуемой прочности на сжатие  $R=70$  МПа.

При проведении экспериментов использовали следующие материалы: молотый портландцементный клинкер ( $S_{уд}=350\text{м}^2/\text{кг}$ ) среднего химико-минералогического состава, без добавок; двуводный гипс ( $S_{уд}=350\text{м}^2/\text{кг}$ ) и кварцевый наполнитель. Составы цементных композиций подбирались в соответствии с пятифакторным планом «Смесь, технология - свойства», синтезированному в системе «СОМРЕХ». В качестве переменных были приняты: удельная поверхность кварцевого наполнителя ( $S_{уд}=400\pm 200\text{м}^2/\text{кг}$ ), количество наполнителя ( $X_1=20\pm 10\%$ ) и количество гипса ( $X_2=20\pm 10\%$ ) по массе цемента.

В ходе работ контролировали: коэффициенты интенсивности напряжений при рекомендованных методах инициирования трещины  $K_{1c}$  [3] и прочность цементных образцов в возрасте 28 суток на сжатие ( $R$ ) и растяжение при изгибе ( $R_{bt}$ ). Иницирование трещины осуществляли двумя способами: заложением металлической пластины в образец при его формовании ( $K_{1c}^3$ ) и распилом уже затвердевшего образца ( $K_{1c}^P$ ). Физико-механические характеристики определяли по общепринятым стандартам. Водоцементное отношение испытываемых составов равнялось  $B/C=0.32$ .

На рис.1 приведены диаграммы экспериментально-статистических моделей, отражающих влияние рецептурно-технологических факторов на вязкость разрушения цементного камня при различных методах инициирования трещины. Значения коэффициентов интенсивности напряжений цементных композиций, не включающих в свой состав молотый кварцевый песок, равны  $K_{1c}^3=2.8$  МПа·м<sup>1/2</sup>;  $K_{1c}^P=3.85$  МПа·м<sup>1/2</sup>. Введение наполнителя, с учетом его количества, удельной поверхности и содержания в вяжущем двуводного гипса, позволяет

повысить трещиностойкость цементного камня в среднем на 15% и 20%, соответственно.

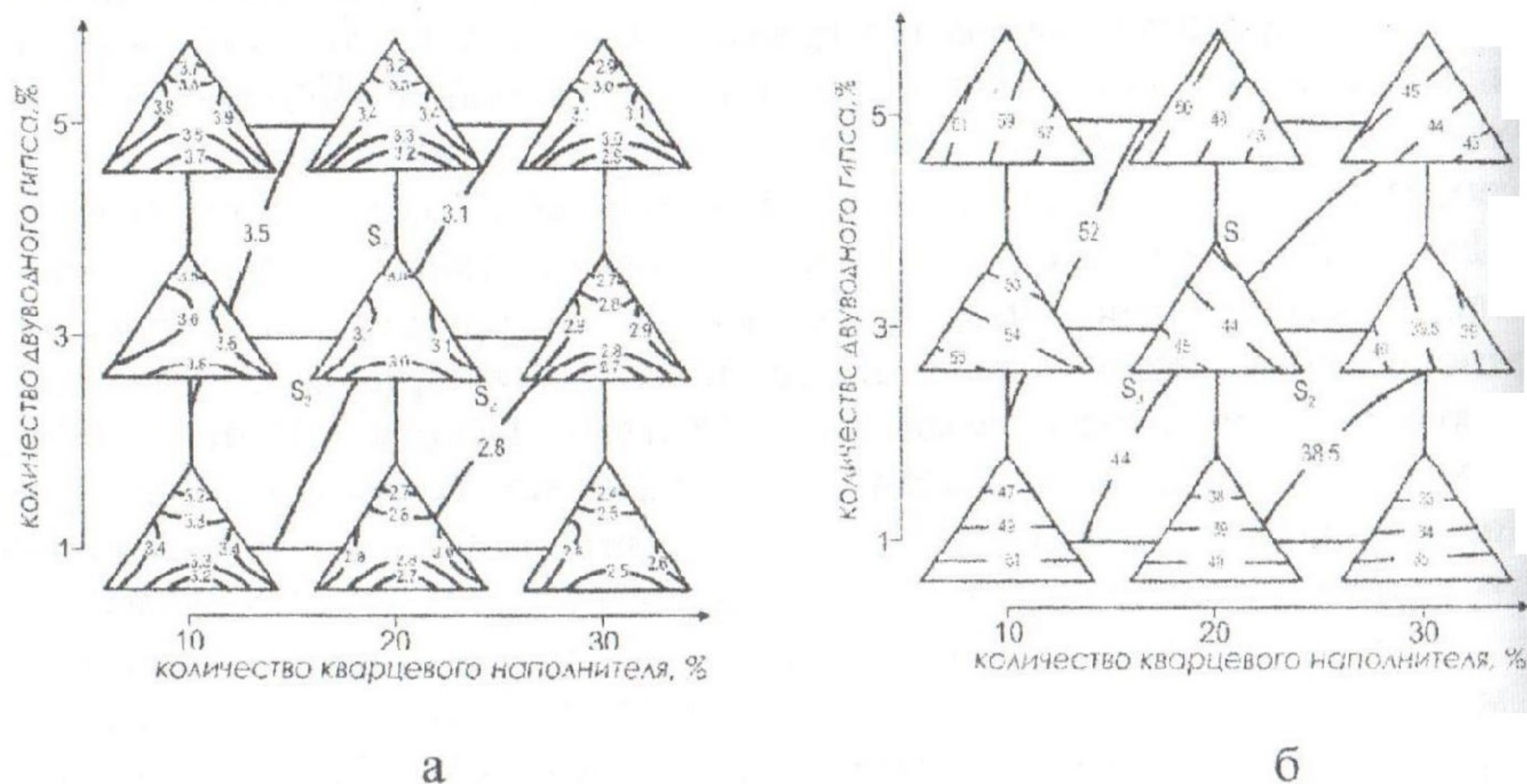


Рис. 1. Влияние количества и удельной поверхности кварцевого наполнителя на трещиностойкость цементных композиций:  $K_{1c}^3$  (а) и  $K_{1c}^P$  (б):  $S_1 = 200\text{ м}^2/\text{кг}$ ;  $S_2 = 400\text{ м}^2/\text{кг}$ ;  $S_3 = 600\text{ м}^2/\text{кг}$ .

Максимально вязкость разрушения затвердевших цементных систем повышается при 10% наполнителя в составе вяжущего. В этом случае трещиностойкость цементных композиций возрастает, в зависимости от удельной поверхности кварцевых частиц и количества  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , с  $K_{1c}^3 = 2.8 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$  до  $K_{1c}^3 = 3.2-3.9 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$  и с  $K_{1c}^P = 3.85 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$  до  $K_{1c}^P = 4.7-6.1 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ .

Изменяя  $S_{уд}$  наполнителя также можно регулировать трещиностойкость затвердевших цементных систем. Так, увеличение удельной поверхности частиц молотого кварцевого песка с  $S_{уд} = 200\text{ м}^2/\text{кг}$  до  $S_{уд} = 400\text{ м}^2/\text{кг}$  и  $S_{уд} = 600\text{ м}^2/\text{кг}$  позволяет повысить значения  $K_{1c}^3$ , при принятом количестве наполнителя  $X_1 = 20 \pm 10\%$ , в среднем на 10% (рис. 1а). Влияние удельной поверхности кварцевого наполнителя на значения  $K_{1c}^P$  определяется процентным содержанием двуводного гипса в вяжущем (рис. 1б). При 1%  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  цементные композиции с наполнителем смешанного зернового состава  $S_{уд} = 400 + 600\text{ м}^2/\text{кг}$  характеризуются повышенной вязкостью разрушения по сравнению с системами, содержащими молотый кварцевый песок с  $S_{уд} = 200\text{ м}^2/\text{кг}$ . При 3%  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  трещиностойкость цементного камня возрастает с увеличением удельной поверхности наполнителя, независимо от количества последнего в составе вяжущего, а при 5%  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  значения  $K_{1c}^P$

повышаются как в случае уменьшения удельной поверхности частиц тонкомолотого кварца с  $S_{уд}=400\text{м}^2/\text{кг}$  до  $S_{уд}=200\text{м}^2/\text{кг}$ , так и в случае увеличения  $S_{уд}=400\text{м}^2/\text{кг}$  до  $S_{уд}=600\text{м}^2/\text{кг}$ . В среднем изменение удельной поверхности кварцевого наполнителя приводит к повышению трещиностойкости затвердевших цементных систем на 8%.

Полученные экспериментальные данные показали, что значения  $K_{1c}^3$  и  $K_{1c}^P$  изменяются и в зависимости от количества двуводного гипса в портландцементе. Увеличение содержания  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  в вяжущем с 1% до 3% и 5% обеспечивает повышение вязкости разрушения цементных композиций, с учетом количества и удельной поверхности наполнителя, в среднем на 20% и 25%, соответственно.

Проведенные исследования позволили определить, что использование кварцевого наполнителя приводит к повышению трещиностойкости цементного камня. При этом степень влияния молотого кварцевого песка на значения  $K_{1c}^3$  и  $K_{1c}^P$  зависят от его качественных и количественных параметров, а также содержания в составе портландцемента двуводного гипса.

Максимальное повышение трещиностойкости затвердевших цементных систем наблюдается при введении 5%  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  и 10% наполнителя, независимо от способа инициирования трещины ( $K_{1c}^3=3.7-3.9 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$  и  $K_{1c}^P=5.7-6.1 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ ). Такой количественный состав двуводного гипса и молотого кварцевого песка обеспечивает получение цементного камня с прочностью на сжатие  $R=70-72 \text{ МПа}$  и прочностью на изгиб  $R_{bt}=10.5-10.9 \text{ МПа}$ .

Для изготовления цементных композиций с наибольшими значениями коэффициентов интенсивности напряжений, как при трещине, инициированной методом заложения, так и полученной методом распила, при максимально возможных показателях прочности на сжатие и растяжение при изгибе возникает необходимость определения оптимальной удельной поверхности кварцевого наполнителя.

Оптимизация  $S_{уд}$  проводилась методом совмещения диаграмм экспериментально-статистических моделей зависимостей значений  $K_{1c}^3$ ,  $K_{1c}^P$ ,  $R$  и  $R_{bt}$  от удельной поверхности наполнителя при количестве в составе вяжущего 10% молотого кварцевого песка и 5% двуводного гипса.

Решения, удовлетворяющие поставленной задаче, находятся в области, ограниченной изолиниями, соответствующими максимальным значениям вязкости разрушения наполненных цементных систем ( $K_{1c}^3=3.9 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ ) и ( $K_{1c}^P=6.1 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ ), а также

значениям физико-механических свойств, равным  $R=71$  МПа и  $R_{bt}=10.5$  МПа (рис.2). Отсюда следует, что оптимальным вариантом для максимального повышения трещиностойкости цементных композиций при обеспечении их высокой прочности на сжатие и изгиб является использование кварцевого песка смешанного зернового состава, включающего 80% частиц с  $S_{уд}=200\text{м}^2/\text{кг}$ , 5% частиц с  $S_{уд}=400\text{м}^2/\text{кг}$  и 15% частиц с  $S_{уд}=600\text{м}^2/\text{кг}$ . Введение 10% наполнителя с указанными качественными характеристиками позволяет повысить коэффициенты интенсивности напряжений в среднем на 33%,  $R$  – на 11%,  $R_{bt}$  – на 15%. При этом количество  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  в вяжущем должно составлять 5%.

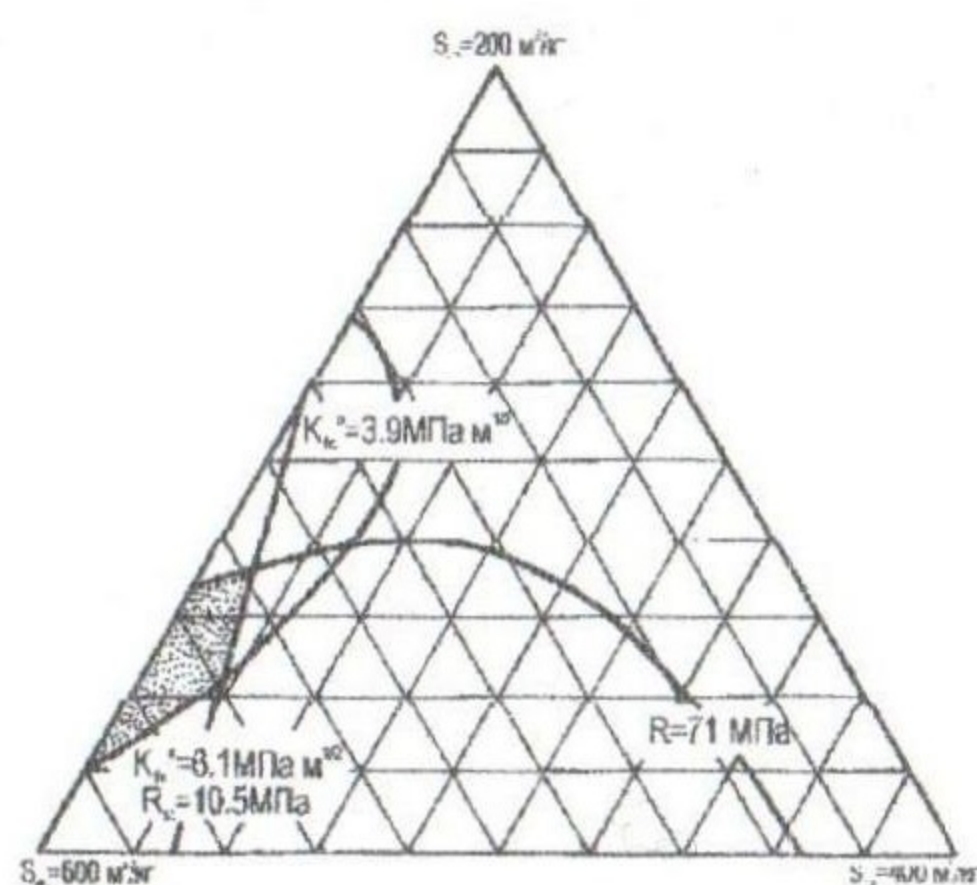


Рис.2. Диаграмма поиска оптимальной удельной поверхности кварцевого наполнителя при максимальных значениях трещиностойкости и прочности цементного камня.

Таким образом, по результатам экспериментальных исследований были определены составы цементного вяжущего с оптимальным количеством кварцевого наполнителя и двуводного гипса, позволяющие получать материалы с повышенными по сравнению с ненаполненными системами трещиностойкостью и физико-механическими характеристиками.

Цементное вяжущее разработанных составов в качестве конечного продукта рекомендуется использовать в ремонтно-восстановительных и реставрационных работах, а также при реконструкции зданий и сооружений (в частности, при монтаже, соединении и креплении разрозненных деталей и изделий строительных конструкций, укреплении разрушающихся материалов, заделке трещин, щелей, стыков и швов, восстановлении герметичности объемных блоков и т.д.).

1. Соломатов В.И., Выровой В.Н., Аббасханов Н.А. Бетон как композиционный материал. – Ташкент: УзНИИНТИ, 1984. – 31с.
2. Композиционные строительные материалы и конструкции пониженной материалоемкости / В.И. Соломатов, В.Н. Выровой, В.С. Дорофеев, А.В. Сиренко. – К.: Будівельник, 1991. – 144с.
3. Зайцев Ю.В. Механика разрушения для строителей. – М.: Высшая школа, 1991. – 288с.