

УДК 666.9.022

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АКТИВИРОВАННЫХ ЦЕМЕНТНЫХ РАСТВОРОВ

Барабаш Т.И., аспирант, Бабий И.Н., к.т.н. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса).

Исследовано влияние количества и дисперсности наполнителя на прочностные свойства растворов, приготовленных в условиях гидромеханической активации. Показаны преимущества активированных растворов над растворами, приготовленными традиционно.

Композиционные строительные материалы на данный период нуждаются в поиске и внедрении инженерных решений и улучшении их технологии и качества, направленных на удовлетворение запросов современного рынка строительных материалов. Обзор литературы показал, что в строительном материаловедении существуют области, в которых возможен поиск технологических приемов и научного обоснования процессов, происходящих при этом, т.е. практический и теоретический подход. В связи с этим научные изыскания проводятся в области раскрытия потенциальных возможностей сырьевых компонентов [1] вяжущих, растворов и бетонов на их основе [2]. Один из способов решения задачи заключается в активации дисперсной и дисперсионной среды. Активация – это сложный многоступенчатый процесс изменения энергетического состояния материалов, скрытые возможности которого являются доминирующими в процессе структурообразования. В различных условиях процесс активации протекает с различной интенсивностью в зависимости от скорости приложения нагрузки, вида напряженного состояния материала, характеристик самих воздействий. Среди видов активационных воздействий присущи методы электроактивации твердеющих систем, используются явления электрофореза для направленного переноса продуктов новообразований. Отрабатывается магнитная обработка твердеющих систем. Ультразвуковая обработка твердеющих систем позволяет значительно повысить механические характеристики готового продукта [3].

Большую роль в управлении структурообразованием занимают механические методы повышения химической активности минеральных вяжущих [4]. Анализ механизмов механоактивации грубодисперсных систем и механизмов межчастичных взаимодействий при гидродинамических

воздействиях в скоростных трибосмесителях-активаторах показал, что в турбулентных потоках реализуется не только столкновение частиц, но и удаление продуктов новообразований с поверхности зерен вяжущего в дисперсионную среду. Это ведет к углублению фронта реакции, что приводит к вовлечению в обменные процессы большего количества минералов цемента. В силу того, что эти процессы происходят в период механоактивации, удаление продуктов новообразований с поверхности зерен вяжущего продолжается, вызывая тем самым увеличение количества химически связанной воды в начальные сроки твердения [5].

Известно [6], что изменение количества и дисперсности наполнителя, входящего в цементные композиции, приготовленных в условиях механохимической активации, приводит к повышению прочности при сжатии и прочности при растяжении на изгиб цементного камня по сравнению с композитами, приготовленными традиционно, т.е. повышение химической активности механоактивированных цементных композиций вызывает повышение их прочностных характеристик. Было исследовано влияние вышеперечисленных факторов на свойства растворов, поскольку простой перенос оптимальных значений дисперсности и количества наполнителя в цементных суспензиях на растворы является некорректным, т.к. часть вяжущего расходуется на обволакивание зерен заполнителя и сцепление с ним.

Таким образом, проанализировав вышесказанное, была поставлена цель исследований – установить влияние наполнителя на прочностные свойства растворов, приготовленных в условиях механохимической активации (МА).

Для проведения эксперимента был использован портландцемент, приготовленный в лабораторных условиях из клинкера Одесского цементного завода с 3% гипсового камня. Суспензия вяжущего готовилась в трибосмесителе-активаторе путём последовательного введения воды с суперпластификатором в количестве 1% от массы вяжущего, портландцемента и наполнителя в виде молотого кварцевого песка, факторами которого были количество его содержания в смеси $X_1=30\pm 24\%$ и удельная поверхность ($S_{уд}$), варьируемая в интервале $X_2=300\pm 200$ м²/кг. Время перемешивания в скоростном трибосмесителе-активаторе составляет 3 мин. В/В отношение подбиралось из условия получения нерасслаивающихся смесей и равнялось 0,28. Приготовленная таким образом суспензия вяжущего для получения раствора перемешивалась с кварцевым песком в соотношении 1:3. На аналогичных составах готовились контрольные образцы по традиционной технологии. Полученные образцы, приготовленные по сравниваемым технологиям, подвергались уплотнению в течение 2-х минут на стандартной лабораторной виброплощадке. Таким образом, данная методика позволила получить образцы абсолютно одинаковых составов и с



Рис. 1. Кинетика прочности при сжатии цементных растворов

практически одинаковой плотностью. В качестве конечных анализируемых параметров была принята прочность при сжатии и на растяжение при изгибе образцов-балочек $4 \times 4 \times 16 \text{ см}$ через 1, 3, 7, 28 сутки твердения в пластиковых пакетах.

Анализ кинетики процесса структурообразования осуществляется на основе математического моделирования зависимостей прочности при сжатии от количества и дисперсности введенного наполнителя.

Интерпретация полученных математических моделей влияния количества наполнителя и его дисперсности позволила установить следующее. Растворы, приготовленные на механоактивированном вяжущем, характеризуются быстрым набором прочности в первые сутки твердения. При этом они набирают в среднем 40% от марочной прочности. В то время как растворы, приготовленные традиционно, на 1-е сутки твердения отличаются меньшей прочностью, в отдельных случаях на несколько порядков.

Также цементные растворы на механоактивированном вяжущем за весь исследуемый период 1-28 сутки характеризуются интенсивным набором прочности. Причём максимальной прочностью на 3, 7, 28 сутки твердения отличается цементный камень, приготовленный при использовании наполнителя с удельной поверхностью $500 \text{ м}^2/\text{кг}$, рис. 1.

В то же время влияние удельной поверхности на прочность при сжатии за исследуемый период неоднозначно. Графическое отображение модели показывает, что на 1-е сутки твердения в зоне максимальных значений

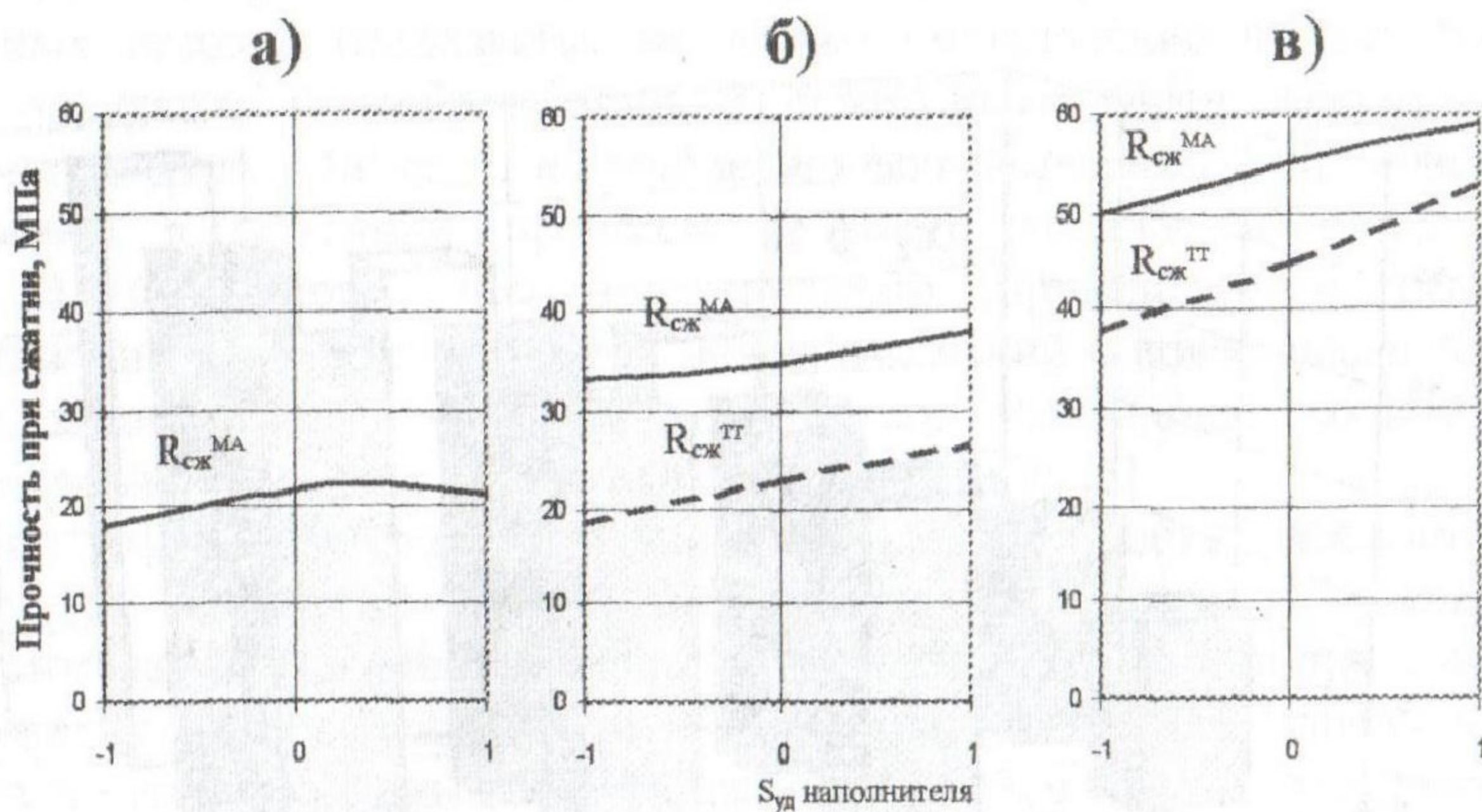


Рис.2. Влияние удельной поверхности наполнителя на $R_{сж}$ цементных растворов в зоне максимальных значений при МА и ТТ а) 1, б) 3, в) 28 сутки твердения

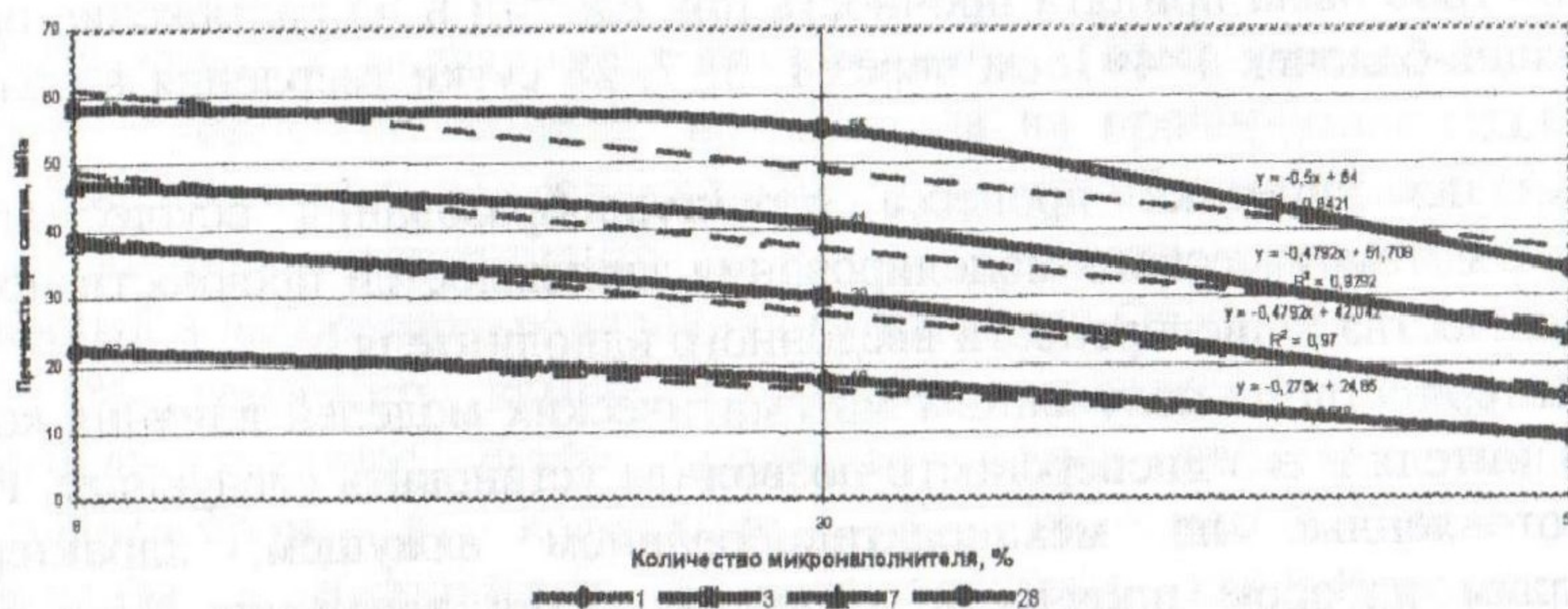


Рис.3. Анализ взаимосвязи между прочностью при сжатии и количеством микронаполнителя

(рис.2.а), если изменение удельной поверхности со $100 \text{ м}^2/\text{кг}$ до $300 \text{ м}^2/\text{кг}$ приводит к увеличению прочности при сжатии с 18 МПа до $32,2 \text{ МПа}$, т.е. в 1,8 раз, то при дальнейшем увеличении удельной поверхности до $S_{уд}=500 \text{ м}^2/\text{кг}$ прочность при сжатии несколько снижается. Оптимальной же удельной поверхностью наполнителя для максимальной прочности на 1-е сутки твердения является $S_{уд}=380 \text{ м}^2/\text{кг}$. При последующем твердении на 3, 28 сутки (рис.2.б,в) оптимум сдвигается в сторону $\max S_{уд}$ наполнителя. При этом

влияние удельной поверхности на $R_{сж}$ имеет уже линейную зависимость. При традиционной технологии на 3, 28 сутки прослеживается та же зависимость рис.2.б,в.

Влияние количества наполнителя на прочность при сжатии также неоднозначно во времени. Так, было установлено, что прочность при сжатии является функцией от количества и дисперсности наполнителя $R_{сж}=f(x_1x_2)$. Варьируя количество наполнителя от 6% до 54%, можно изменять прочность при сжатии на первые сутки в пределах 5-22 МПа. Причём, если увеличение степени наполнения с 6% до 30% приводит к снижению прочности при сжатии на 20%, то дальнейшее наполнение с 30% до 54% снижает прочность до 2 раз.

Так, анализируя характер угла наклона прямых аппроксимации в соответствующих интервалах для начальных и конечных сроков испытаний заметно отличие, которое говорит о различной степени влияния фактора x_1 , рис.3. Интересно отметить, что, если увеличение количества наполнителя с 6% до 30% в начальные и конечные сроки испытания приводит к понижению прочности на 5-30%, то дальнейшее его увеличение с 30% до 54% приводит к потере прочности уже на первые трое суток до 1,9 раз, а на 7, 28 сутки потеря прочности составляет 64-67 %. Причем, если на первые семь суток твердения максимальную прочность при сжатии имеют композиты с минимальным содержанием наполнителя ($x_1=-$), то на 28 сутки твердения оптимум сдвигается в зону увеличения количества наполнителя x_1 до 15-18 %, рис.3. В то же время при традиционной технологии во все сроки испытания максимальная прочность наблюдается у композитов с минимальным количеством наполнителя до 6%.

Для того, чтобы качественно оценить влияние механоактивации на прочность при сжатии композитов на цементных растворах, было принято использовать безразмерный коэффициент K , равный отношению прочностей при сжатии образцов, приготовленных на основе механоактивированного вяжущего и образцов, приготовленных традиционно

$$K = \frac{MA}{TT} / \frac{R_{сж}}{R_{сж}}$$

Были также получены экспериментально-статистические модели, описывающие влияние приведенных выше факторов x_1 и x_2 на изменение прироста прочности.

Анализ изменения коэффициента K показал, что наибольший прирост прочности достигается для составов, в которые введено максимальное количество наполнителя, так как суспензии, приготовленные при помощи механохимической активации, способны набирать высокие показатели прочности в начальные сроки твердения. Базовой для анализа являлась модель для коэффициента K по показателям прочности композитов, испытанных на третьи сутки твердения, поскольку на первые сутки твердения

не удалось зафиксировать прочность при сжатии в составах, приготовленных традиционно:

$$K\{3\} = 1.778 + 0.35x_1 + 0.083x_1^2 - 0.133x_2 + 0.033x_2^2 \quad (1)$$

Аналогичные по виду модели получены для коэффициента К для образцов, испытанных в возрасте 7 и 28 сут:

$$K\{7\} = 1.643 + 0.265x_1 - 0.02x_1x_2 + 0.025x_1^2 - 0.14x_2 \quad (2)$$

$$K\{28\} = 1.5 + 0.235x_1 - 0.068x_1^2 - 0.068x_2 \quad (3)$$

Анализ моделей показывает, что прирост прочности максимален в начальное время твердения. Так, на третьи сутки твердения он повышается с 1,5-1,7 при $x_1=6\%$ до 2,2-2,4 при $x_1=54\%$. Как указывается [7], это можно объяснить созданием высокотвёрдыми частичками наполнителя так называемой «абразивной среды», способствующей интенсивному сдиранию с поверхности частичек гидратных новообразований. При этом максимальное повышение прочности наблюдается при введении в дисперсную систему наполнителя с минимальной удельной поверхностью $x_2=100 \text{ м}^2/\text{кг}$. На 7 сутки прирост прочности уже составляет 1,3-2, а в возрасте 28 суток коэффициент К уменьшается и находится в пределах 11-60%.

Таким образом, максимальные изменения в факторном пространстве достигаются за счет увеличения содержания и уменьшения удельной поверхности наполнителя в цементной суспензии.

Используя полученные в ходе эксперимента результаты, можно сделать следующие выводы. С помощью обработки суспензий в гидромеханических смесителях-активаторах возможно получать в начальные сроки твердения материалы с прочностью в несколько раз большей, чем при традиционной технологии. Эффект активации значительно усиливается при введении в цементную суспензию на стадии приготовления наполнителей оптимального количества и дисперсности, что позволяет эффективно использовать потенциальные возможности вяжущего и тем самым рационально использовать портландцемент для получения необходимых показателей качества композитов.

Литература.

1. Федоркин С.И. Механоактивация вторичного сырья в производстве строительных материалов.- Симферополь: Таврия, 1997.- 180 с.
2. Пшынко А.Н. Подводное бетонирование и ремонт искусственных сооружений. Днепропетровск: Пороги, 2000. –411с.
3. Влияние звуковой и ультразвуковой обработки на прочностные характеристики цементов с добавками/И.Г. Гранковский, Н.Н. Круглицкий, Г.П. Бойко, В.В. Симуров.-Там же, 1973, 39, №2, с. 180-183.
4. Барабаш І.В. Механохімічна активація мінеральних в'язучих речовин: Навчальний посібник. – Одеса: Астропринт,- 2002. – 100с.
5. Барабаш Т.И., Выровой В.Н., Барабаш И.В. Свойства твердеющих механоактивированных цементных композиций // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Рівне: РДТУ.- 2001. - №.7 – С.3-7.
6. Барабаш Т.И., Бабий И.Н. Влияние механохимической активации и содержания микронаполнителя на прочностные характеристики цементных матриц // ВІСНИК Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Одеса: ОДАБА. – 2003. -№12.
7. Барабаш И.В., Щербина С.Н., Бабий И.Н., Матковский В.Д. Влияние физико-химической активации на кинетику набора прочности КСМ на основе портландцементов // Збірник наукових праць “Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди” – Рівне: Вид-во РДТУ.- 2000.-№ 5.