

ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСНОГО АРМИРОВАНИЯ ПОЛИМЕРНЫМИ ФИБРАМИ И НАПОЛНИТЕЛЯ НА СВОЙСТВА БЕТОНА ДЛЯ ТОНКОСТЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

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

Исследовано влияние мелкодисперсного наполнителя на свойства бетона, дисперсно-армированного разными видами полимерных фибр. Показано положительное влияние наполнителя на прочность композита и его структуру.

Обеспечение долговечности бетона тонкостенных конструкций остается актуальной задачей современного материаловедения. Бетон таких конструкций должен обеспечивать достаточные уровни целого ряда качественных показателей, гарантирующих возможность его длительной эксплуатации с учетом условий окружающей среды.

На современном этапе для повышения эксплуатационных свойств и долговечности бетона применяется широкий спектр модификаторов разной природы: пластификаторы, кольматирующие добавки, наполнители и пр. Помимо того, для ответственных тонкостенных конструкций все шире применяется дисперсное армирование бетона фибрами, в том числе полимерными.

В эксперименте изучалось влияния на свойства тяжелого бетона для тонкостенных конструкций следующих факторов состава:

X_1 - количества сульфатостойкого цемента, от 500 до 700 кг/м³ ;

X_2 - соотношения между крупным и мелким заполнителем (щебень/песок), от 1.6 до 2.2. Данный фактор влияет на «защемление» волокон фибры, и, соответственно, на качество совместной работы бетонной матрицы и фибры;

X_3 - количества наполнителя (молотого песка дисперсностью 3000 см²/гр), от 0 до 8% от массы цемента. Известно, что наполнители оказывают существенное влияние на качество матрицы материала, в том числе на сцепления матрицы с фиброй.

- дозировки полипропиленовой фибры двух видов, в одной серии Fibermesh F-19 (X_4) то 0 до 5 кг/м³ и другой серии Baucon (X_5) соответственно от 0 до 1.2 кг/м³. Волокно Fibermesh F-19 имеет диаметр 200 мкм и длину 13 мм, а Baucon диаметр 18.7 мкм и длину 12 мм. По этой причине более крупная фибра F-19 вводилась в большем количестве на 1 м³ бетона, чем более мелкая Baucon.

Применения дисперсного армирования позволяет существенно повысить трещино- и ударостойкость бетона тонкостенных конструкций, подвергаемых динамическим воздействиям [1-3]. Однако, ввиду влажной среды эксплуатации большинства таких конструкций и сложности регулирования защитного слоя арматуры следует применять полимерную фибру, которая не подвержена коррозии.

Во все составы вводилась комплексная добавка [4] Пенетрон А (в количестве 2% от массы цемента) + суперпластификатор С-3 (0.8% от массы цемента), разработанная на предыдущих этапах исследований [5]. Эксперимент проводится по 18-ти точечному D-оптимальному плану, переход к кодированным переменным выполнен по типовой формуле [6].

Свойства составов с фиброй Fibermesh F-19 в дальнейшем обозначаются индексом А, с фиброй Ваусон – индексом В.

Все смеси имели равную подвижность ОК=16..18 см, то есть водопотребность зависела от состава и по результатам ее определения были построены ЭС-модели влияния варьируемых факторов на В/Ц отношение (ошибка эксперимента $s_y=0.007$):

$$\begin{aligned} \text{В/Ц}_A = 0.331 - 0.033x_1 & \bullet & - 0.005x_1x_2 + 0.004x_1x_3 - 0.008x_1x_4 \\ & + 0.004x_2 & \bullet & \bullet \\ & + 0.005x_3 + 0.010x_3^2 & & + 0.003x_3x_4 \\ & + 0.025x_4 & \bullet & \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{В/Ц}_B = 0.316 - 0.028x_1 & \bullet & - 0.003x_1x_2 + 0.005x_1x_3 - 0.004x_1x_5 \\ & \bullet & \bullet & - 0.002x_2x_5 \\ & \bullet & + 0.007x_3^2 & \bullet \\ & + 0.008x_5 & \bullet & \end{aligned} \quad (2)$$

Поля свойств [7] моделей (1) и (2) показывают минимумы равной величины $\text{В/Ц}_{A.\text{MIN}} \approx \text{В/Ц}_{B.\text{MIN}} \approx 0.28$ в точках с близкими координатами $x_1 = x_2 = 1$, $x_3 \approx -0.3$, $x_4 = 1$. То есть наименьшее В/Ц (водопотребность смеси) у составов с максимальным количеством цемента и Щ/П, без фибры и близким к минимальному количеству наполнителя. Наибольшую же $\text{В/Ц}_{A.\text{MAX}} = 0.422$ для бетонов с фиброй Fibermesh показывают составы в точке $x_1 = -1$, $x_2 = x_3 = x_4 = 1$, а для бетонов с фиброй Ваусон $\text{В/Ц}_{B.\text{MAX}} = 0.368$ в точке $x_1 = x_3 = -1$, $x_2 = x_4 = 1$. Построенные по моделям (1) и (2) однофакторные диаграммы, проходящие через экстремальные точки, показаны соответственно на рис.1.а и рис.1.б.

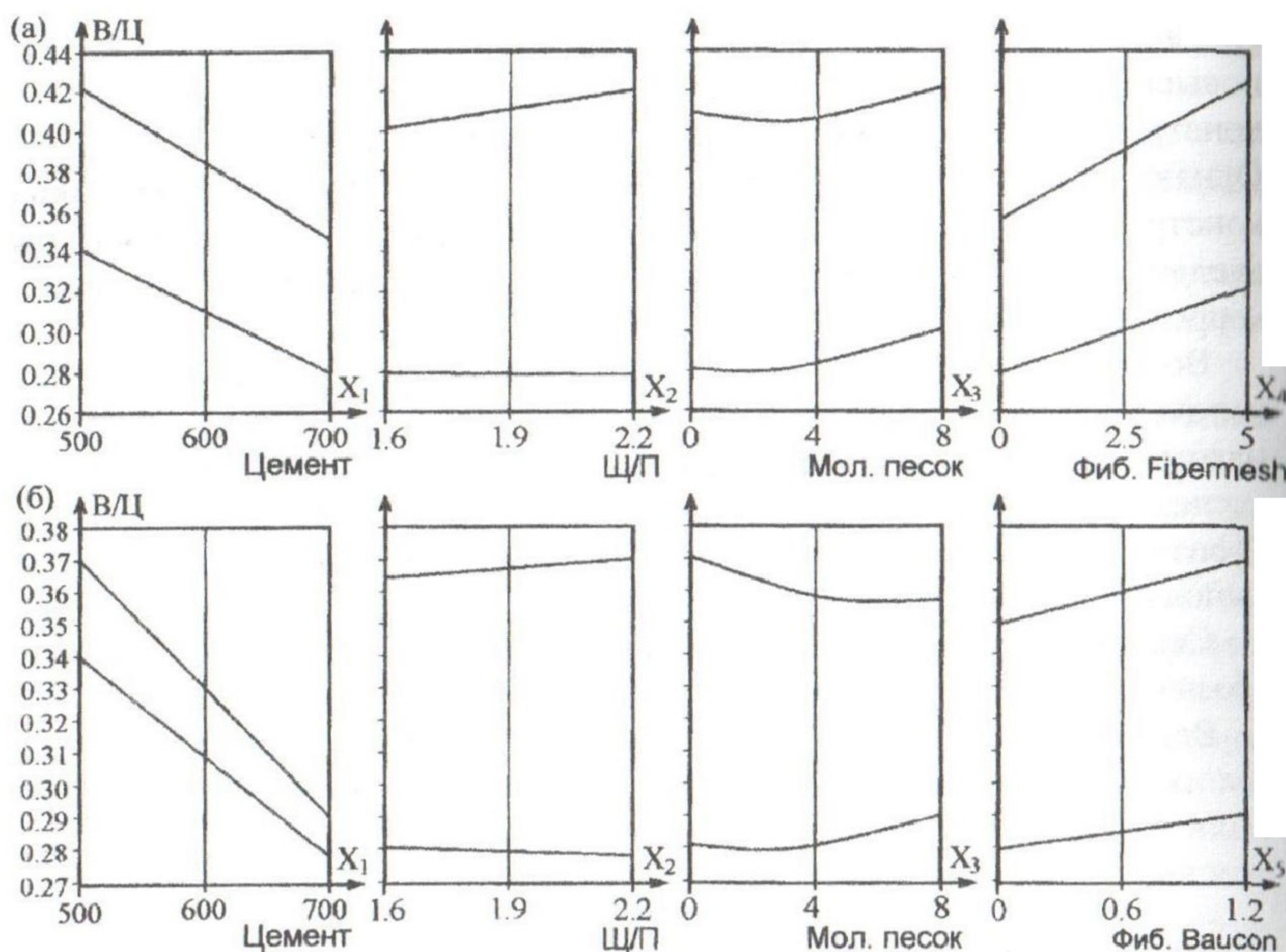


Рис.1. Влияние варьируемых факторов состава на В/Ц смеси в точках максимума и минимума: а) с фиброй Fibermesh, б) с фиброй Baucop.

Анализ показанных на рис.1 диаграмм позволяет сказать, что наиболее существенно на В/Ц смесей равной подвижности влияют количество цемента и полимерной фибры. При этом введение 5 кг/м^3 фибры Fibermesh F19 (максимум для данного типа) вызывает намного более существенный рост В/Ц, чем введение 1.2 кг/м^3 фибры Baucop (максимум для Baucop соответственно). Изменение Щ/П практически не сказывается на величине В/Ц в зоне минимумов (составы без фибры) и повышает водопотребность в зоне максимума. Это объясняется тем, что при наличии в смесях фибры создаваемая ею сетка препятствует перемещению в смеси под собственным весом крупного заполнителя (щебня). Введение молотого песка в большей части факторного пространства требует повышения В/Ц смеси, однако при максимальной дозировке фибры может даже несколько снижать водопотребность ввиду улучшения растекаемости смеси за счет дополнительной раздвижки зерен щебня.

Исследовались прочности при сжатии и растяжении при изгибе модифицированного бетона в сухом состоянии. По ЭС-моделям, аналогичным (1) и (2) были построены диаграммы в виде кубов, показанные на рис.2 и отображающие влияния варьируемых факторов состава на данные показатели качества. При построении диаграмм количество цемента фиксировалось на уровне 600 кг/м^3 , поскольку этот фактор оказывает предсказуемое влияние на прочность композита. То есть анализируется локальное поле составов при зафиксированном значении $x_1=0$.

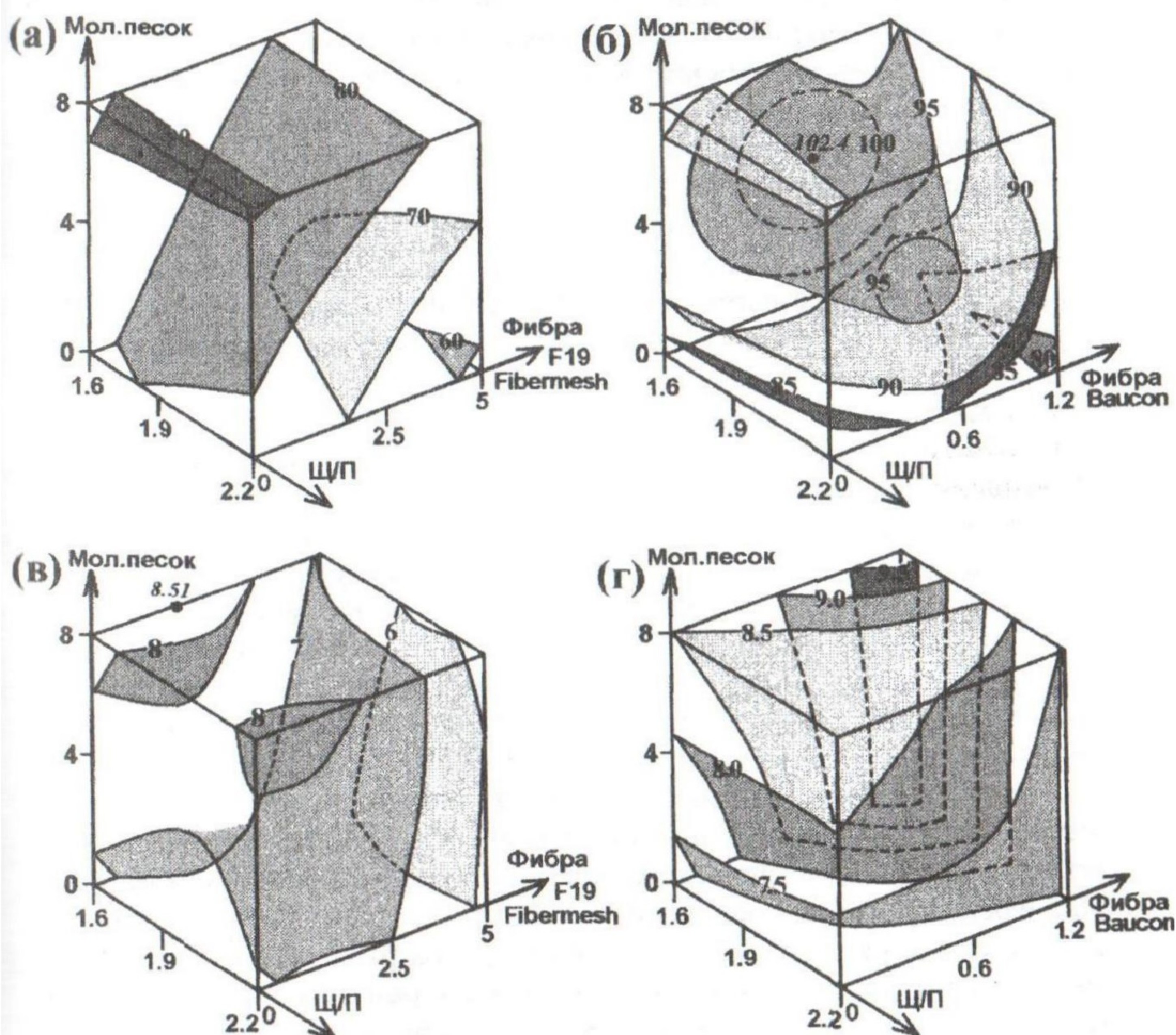


Рис.2. Влияние Щ/П отношения, количества молотого песка и фибры на прочность при сжатии (а – фибра Fibermesh, б- фибра Baucor) и растяжении при изгибе (в – фибра Fibermesh F-19, г- фибра Baucor) бетона.

Из диаграмм видно, что введение наполнителя (молотого песка) положительно сказывается на прочностных характеристиках бетона. Например, при использовании фибры Fibermesh F19 за счет введения 8% молотого песка величина прочности при сжатии увеличивается на 10-15 МПа (рис.2.а), а для бетонов с фиброй Baucon аналогичный рост прочности достигается при введении 6% наполнителя (рис.2.б). За счет применения тонкодисперсного наполнителя также повышается и прочность на растяжение при изгибе (рис.2.в и рис.2.г), в среднем на 1 МПа. Однако необходимо отметить, что наполнитель показывает большую эффективность в составах без фибры или с малым ее содержанием. Это можно объяснить тем, что, во-первых, при значительном проценте дисперсного армирования большую роль играют волокна, во-вторых, бетоны с высоким содержанием фибры имели более высокую водопотребность и, соответственно пористость, что снижает эффективность наполнителя.

Введение волокон Fibermesh до 1.5-2 кг на м³ бетона несколько повышает прочность бетона на растяжение при изгибе, дальнейшее повышение дозировки данного волокна неэффективно. На прочность при сжатии фибра Fibermesh оказывает отрицательное влияние, однако при введении до 2 кг/м³ величина R_{bA} снижается не более, чем на 9%. Факт некоторого снижения прочности на сжатие при применении дисперсного армирования широко известен в бетоне, однако как отмечалось выше, основная цель дисперсного армирования в повышении ударо- и трещиностойкости композита.

За счет введения фибры Baucon прочность на растяжение при изгибе возрастает на 7-27%. Значительно более эффективной данная фибра является для составов с низким Ц/П. Это можно объяснить лучшим распределением и заземлением волокон в таких композитах. При введении до 0.6-0.7 кг Baucon на м³ бетона наблюдается даже некоторый рост прочности при сжатии бетона, при этом величина R_{bB} (в марочном возрасте) достигает 100 МПа.

Работа модифицированных бетонов при нагружении изучалась методом акустической эмиссии. Было обнаружено, что введение волокон фибры повышает стойкость к микротрещинообразованию. Дисперсно-армированный материал имеет высокое сопротивление к деструкции и разрушение происходит при разрыве волокон фибры в зоне максимального растяжения. При этом развитие макротрещины останавливается на 1/2 сечения образца. Также было установлено, что наличие молотого песка в структуре бетона улучшает его эксплуатационные характеристики путем снижения, во-первых, количества микродефектов, которые формируются на стадии

отверждения образца и, во-вторых, облегчают релаксацию материала под нагрузкой на растяжение.

Таким образом, за счет совместного применения дисперсного армирования и наполнителя (молотого песка) можно значительно повысить долговечность бетона в тонкостенных конструкциях, а также положительно повлиять на его прочность на растяжение.

По результатам исследований разработан и утвержден «Регламент по технологии приготовления и применения модифицированного бетона для гидротехнических сооружений мелиорации, водопропускных сооружений и автодорог с применением полимерной фибры». Разработанные составы модифицированных бетонов с полимерной фиброй использовались при строительстве и восстановлении тонкостенных гидротехнических сооружений.

Литература.

1. Кровяков С.А., Мишутин А.В., Чепиль С.Р., Попов О.А. Влияние дисперсного армирования бетона полимерной фиброй на ударостойкость / Мат-лы 41-го международного семинара по моделированию и оптимизации композитов. - Одесса: Астропринт, 2002. - С.49-50.
2. Кровяков С.А., Мишутин А.В., Чепиль С.Р. Анализ влияния полимерных фибр различной геометрии на свойства бетона в сухом и водонасыщенном состоянии / Вісник Донбаської ДАБА 2002-1 (32) - Композиційні матеріали для будівництва. Макіївка, в-до ДонДАБА, 2002. - С. 110-114.
3. Кровяков С.А., Мишутин А.В. Исследование трещиностойкости фибробетона с использованием полностью равновесных диаграмм деформации / Будівельні конструкції. Міжвідомчий науково-технічний збірник. Випуск 59. Книга 1. Київ: НДІБК, 2003. - С. 288-293.
4. Патент Украины № 19814
5. Мишутин А.В. Повышение долговечности бетонов тонкостенных гидротехнических сооружений // Моделирование и оптимизация в материаловедении: Мат-лы 46-го междун. сем. МОК'46. - Одесса: Астропринт, 2007. - С. 110-113.
6. В.А. Вознесенский, Т.В. Ляшенко, Б.Л. Огарков. Численные методы решения строительно-технологических задач на ЭВМ - К.: Выща школа, 1989. - 328 с.
7. Ляшенко Т.В. Концепция полей свойств - методическая основа извлечения информации из ЭС-моделей в компьютерном материаловедении // Вісник Одес. ДАБА. - Одеса, Місто майстрів, 2003. - Вип. 12. - С. 171-179.