

## ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ МОДИФИЦИРОВАННЫХ БЕТОНОВ И ФИБРОБЕТОНОВ АЭРОДРОМНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ЖАРКИХ И СУХИХ УСЛОВИЙ

Мишутин А.В., Атия Аль Амрей Ровад

*Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса*

Взлетно-посадочные полосы современных аэродромов чаще всего представляют собой бетонные двухслойные системы, верхний слой которых – это тонкое покрытие. Отличительной особенностью бетона, применяемого при устройстве аэродромных покрытий, является способность выдерживать действие динамических и изгибающих нагрузок, истирания и агрессивного воздействия атмосферных факторов. Поэтому с целью обеспечения долговечности аэродромных покрытий и безопасности авиатранспорта требования к подобным бетонам обычно включают не только прочность, но и истираемость, морозостойкость и трещиностойкость.

Свойства модифицированных бетонов и фибробетонов для аэродромных покрытий для жарких и сухих условий изучались в 5-ти факторном эксперименте, который проводился по 27-ти точечному D-оптимальному плану [1]. Варьировались следующие факторы состава мелкозернистого бетона (крупность щебня до 10 мм) [2-4]:

$X_1$  – количество портландцемента марки 500, от 400 до 600 кг/м<sup>3</sup>;

$X_2$  – количество добавки Carboxument 1860 (суперпластификатор поликарбоксилатного типа), от 1% до 1.6% от массы цемента.

$X_3$  – количество добавки ускорителя твердения Reba FS (BE), от 0 до 0.8% от массы цемента. Обе добавки производства фирмы Remei, Германия.

$X_4$  – количество тонкодисперсного наполнителя, молотого до удельной поверхности 300 м<sup>2</sup>/кг кварцевого песка, от 0 до 12% от массы цемента. Наполнителем заменялась часть цемента.

$X_5$  – количество полипропиленовой фибры Ваусон, от 0 до 1.2 кг/м<sup>3</sup>.

Все смеси имели равную подвижность ОК от 14 до 18 см, что достигалось изменением их В/Ц. Анализ данного изменения показал, что замена части цемента на наполнитель и введение ускорителя твердения несущественно влияет на водопотребность. Введение пластификатора и увеличение количества цемента снижает В/Ц в смесях, а введение фибры требует незначительного увеличения количества воды затворения для сохранения технологичности.

Твердение бетона в первые 7 суток проходило не в стандартных условиях, а при повышенной до 35-40 °С температуре и низкой (35-45%) влажности, что соответствует условиям стран с жарким и сухим климатом и вызывает быстрое испарение влаги. После 7-ми суток твердения образцы продолжали твердение в сухих условиях при температуре 20-22 °С.

В условиях быстрой влажностной усадки бетона весьма важна его ранняя прочность, причем как на сжатие, так и на растяжение. Анализ прочность при сжатии исследованных бетонов и фибробетонов в возрасте 3-х суток ( $R_{b,3}$ ) показал, что увеличение количества цемента и пластификатора Carboxument повышает данный показатель качества. Существенно, в среднем на 25%, повышается уровень  $R_{b,3}$  за счет введения 0.8% ускорителя твердения, причем такой прирост получен по сравнению с бетонами без ускорителя, но также интенсивно твердевшими при температуре 35-40 °С.

Увеличение количества цемента, пластификатора и введение ускорителя Reba FS (BE) также на 20-30% повышает прочность на растяжение при изгибе в возрасте 3-х суток ( $R_{bt,3}$ ). Замена части цемента наполнителем несущественно влияет на прочность на

растяжение при изгибе, однако при количестве молотого песка в диапазоне 5-8% уровень  $R_{bt,3}$  даже несколько повышается. Армирование полипропиленовой фиброй повышает прочность бетона на растяжение при изгибе в возрасте 3-х суток, причем более ощутимо для высокопрочных составов, что можно объяснить лучшим заземлением волокон в более прочном бетоне.

Анализ влияние варьируемых факторов состава на величину прочность при сжатии бетонов и фибробетонов для аэродромных покрытий в возрасте 28 суток показал, что при увеличении количества цемента и пластификатора данный «базовый» показатель качества возрастает. Положительное влияние ускорителя твердения на прочность сохраняется и в марочном возрасте, поскольку ускоритель позволяет снизить деструктивные явления, возникшие в результате воздействия высокой температуры при низкой влажности. При повышении количества ускорителя до 0.8% прочность бетона линейно повышается, при этом ее суммарный рост достигает 10 МПа.

Исследования прочности бетона на растяжение при изгибе в возрасте 28 суток показали, что увеличение количества цемента и пластификатора линейно повышают уровень данного показателя качества. За счет применения дисперсного армирования и замены 5-8% цемента на тонкодисперсный наполнитель уровень прочность бетона на растяжение при изгибе также повышается. Проявление положительного влияния зерен наполнителя можно объяснить их влиянием на внутренние напряжения и образование внутренних поверхностей раздела в цементной матрице [5-7]. Введение ускорителя твердения повышает уровень прочности на растяжение при изгибе бетона аэродромных покрытий аналогично повышению прочности при сжатии.

Для бетона аэродромных покрытий, в особенности для материала верхних слоев, трещиностойкость является важным показателем качества, обеспечивающим как долговечность конструкции в целом, так и безопасность авиатранспорта. В условиях сухого и жаркого климата трещиностойкость можно считать еще более важной характеристикой, поскольку стойкость к локальному разрушению во многом обуславливает целостность материала при усадке в результате быстрой потери влаги. Помимо того, локальное разрушение покрытия может возникать вследствие объемных изменений при нагревании и охлаждении, характерных для жаркого климата.

Трещиностойкость бетона оценивалась на хранившихся в условиях пониженной влажности образцах в возрасте 28 суток методами механики разрушений [8] по уровню критического коэффициента интенсивности напряжений  $K_{1C}$  (МПа $\times$ м<sup>0.5</sup>). Величина  $K_{1C}$  определялась по трехточечной схеме испытаний образцов с надрезом.

Влияние варьируемых факторов состава на уровень критического коэффициента интенсивности напряжений мелкозернистых бетонов и фибробетонов для аэродромных покрытий адекватно описывает следующая экспериментально-статистическая модель ( $S_9 = 0.0064$  МПа $\times$ м<sup>0.5</sup>):

$$\begin{aligned}
 K_{1C} = & 0.551 + 0.032x_1 \pm 0x_1^2 - 0.008x_1x_2 - 0.005x_1x_3 - 0.003x_1x_4 + 0.007x_1x_5 \\
 & + 0.027x_2 \pm 0x_2^2 + 0.003x_2x_3 \pm 0x_2x_4 + 0.005x_2x_5 \\
 & + 0.015x_3 \pm 0x_3^2 - 0.009x_3x_4 + 0.003x_3x_5 \\
 & + 0.006x_4 - 0.031x_4^2 - 0.005x_4x_5 \\
 & + 0.019x_5 - 0.013x_5^2
 \end{aligned} \tag{1}$$

Анализ модели (1) позволяет сказать, что в пределах факторного пространства эксперимента увеличение количества портландцемента, пластификатора и ускорителя твердения линейно повышает уровень критического коэффициента интенсивности напряжений  $K_{1C}$ .

Для отображения влияния количества суперпластификатора, ускорителя твердения, наполнителя и фибры на трещиностойкость бетона по модели (1) построена диаграмма в виде «квадраты на квадрате», показанная на рис.1. При построении диаграммы фактор  $x_1$

фиксировался на среднем уровне (цемент 500 кг/м<sup>3</sup>), в качестве несущего квадрата выбраны факторы  $x_2$  (суперпластификатор) и  $x_3$  (ускоритель твердения). В поле [9] несущего квадрата на диаграмме (рис.1) показаны изолинии максимального значения уровня  $K_{IC,max}$ , который может быть достигнут за счет варьирования количества фибры и наполнителя.

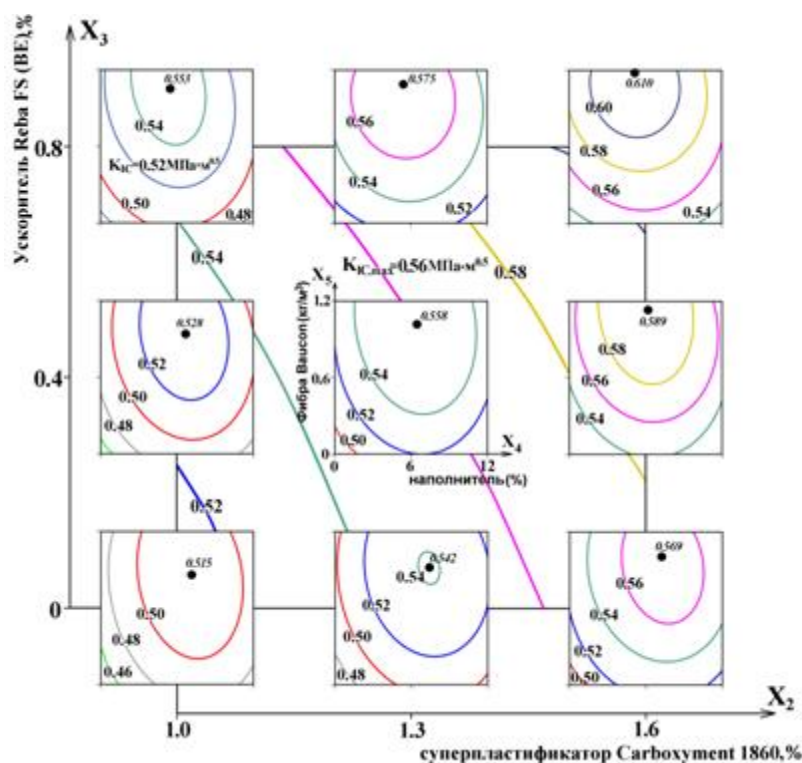


Рис.1. Влияние количества суперпластификатора, ускорителя твердения, наполнителя и фибры на уровень критического коэффициента интенсивности напряжений  $K_{IC}$ .

Как видно из диаграммы, наиболее существенно, на 15-20%, повышает уровень критического коэффициента интенсивности напряжений  $K_{IC}$  при применении дисперсного армирования. Независимо от количества суперпластификатора и ускорителя твердения наиболее трещиностойкими являются составы с количеством наполнителя, близким к среднему (6-8%) и повышенным до 1-1.2 кг/м<sup>3</sup> количеством полипропиленовой фибры. Поля [9] свойства  $K_{IC}$  во всех девяти квадратах, отражающих влияние факторов  $x_4 - x_5$  имеют аналогичный характер при разном уровне величины трещиностойкости. Однако по мере увеличения количества добавок (пластификатора Carboxyment 1860 и ускорителя Reba FS (BE)) максимум для величины критического коэффициента интенсивности напряжений  $K_{IC}$  достигается при все большем количестве фибры. Так, если для составов без ускорителя при количестве пластификатора 1% от массы цемента ( $x_2 = x_3 = -1$ ) максимальная трещиностойкость  $K_{IC,max} = 0.515 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{0.5}$  определяется при дозировке фибры около 0.9 кг/м<sup>3</sup>, то для составов с максимальным количеством добавок наибольшую трещиностойкость  $K_{IC,max} = 0.610 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{0.5}$  имеют бетоны с дозировкой фибры 1.2 кг/м<sup>3</sup>.

Описанная выше тенденция увеличения эффективности дисперсного армирования для составов с большим количеством добавки объясняется общим упрочнением структуры бетона, что способствует лучшему заземлению волокон фибры матрицей материала.

Также весьма важным технологическим эффектом является увеличение трещиностойкости материала при введении ускорителя. Необходимо отметить, что данный эффект наблюдается для составов в марочном возрасте (28 суток). Его можно объяснить снижением начальной дефектности структуры бетона, твердевшего в сухих и жарких условиях, за счет более быстрого набора прочности, позволившего уменьшить деструктивные воздействия, вызванные быстрой потерей влаги.

### **Выводы**

Таким образом, результаты проведенных исследований позволяют рекомендовать для бетона верхних слоев аэродромных покрытий, предназначенных для стран с жарким и сухим климатом, использование следующих технологических приемов:

- введение в состав бетона повышенное до 1.6% от массы цемента количество суперпластификатора Carboxument 1860, что позволит обеспечить необходимую технологичность смеси при сохранении высоких механических свойств материала.

- введение 0.8% ускорителя твердения Reba FS (BE), что позволит обеспечить лучшую гидратацию цемента и препятствовать деструкции материала при значительной ранней влажностной усадке.

- применение дисперсного армирования: 1-1.2 кг/м<sup>3</sup> фибры Ваисоп. Введение фибры повышает трещиностойкость бетона и его прочность на растяжение. Помимо того, фибробетон имеет высокую ударостойкость и низкую истираемость.

- замена 6-8% цемента на мелкодисперсный кварцевый наполнитель, что положительно влияет на трещиностойкость бетона и на его прочность растяжение. Замена части цемента на наполнитель улучшает микроструктуру бетона, не сказывается на величине прочности на сжатие и позволяет снизить себестоимость материала при повышении его качества.

### **SUMMARY**

**The influence of cement, plasticizers, accelerators, fillers and fibers on the properties of concrete airfield pavements for conditions of dry and hot climate. It is shown that fiber-reinforced concrete with optimum amount of filler and additives have high physical and mechanical characteristics of the rapid loss of moisture.**

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

2. Атия Аль Амрей Ровад Бетон аэродромных покрытий в условиях жаркого климата Ирака / Атия Аль Амрей Ровад, А.В. Мишутин // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури, Випуск 37 - Одеса: ЗРС, 2010, – С. 22-27.

3. Атия Аль Амрей Ровад. Повышение качества бетонов аэродромных покрытий для условий сухого и жаркого климата / Атия Аль Амрей Ровад, Мишутин А.В. // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди, Збірник наукових праць, Випуск 22 – Рівне, 2011 – С. 15-21.

4. Мишутин А.В. Повышение долговечности бетонов морских железобетонных плавучих и стационарных сооружений / А.В. Мишутин, Н.В. Мишутин – Одесса: Эвен, 2011. – 292 с.: ил.

5. Выровой В.Н. Бетон в условиях ударных воздействий / В.Н. Выровой, В.С. Дорофеев, С.Б. Фиц. – Одесса: Внешрекламсервис, 2004. – 270 с.

6. Дорофеев В.С. Технологическая поврежденность строительных материалов и конструкций / В.С. Дорофеев, В.Н. Выровой. – Одесса: Місто майстрів, 1998. - 168 с.

7. Соломатов В.И. Композиционные материалы и конструкции пониженной материалоемкости / [В.И. Соломатов, В.Н. Выровой, В.С. Дорофеев, А.В. Сиренко] – К.: Будивельник, 1991. – 144 с.

8. Зайцев Ю.В. Механика разрушения для строителей / Ю.В. Зайцев. – М.: Высшая школа, 1991. – 288 с.

9. Ляшенко Т.В. Концепция полей свойств – методическая основа извлечения информации из ЭС-моделей в компьютерном материаловедении / Т.В. Ляшенко // Вісник Одес. ДАБА. – Одеса, Місто майстрів, 2003. – Вип. 12. – С. 171-179.