

УДК 691.32

**ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ БЕТОНОВ  
АЭРОДРОМНЫХ ПОКРЫТИЙ, ИЗГОТАВЛИВАЕМЫХ  
В СУХИХ И ЖАРКИХ УСЛОВИЯХ**

*д.т.н., проф. Мишутин А.В., магистр Атуа Аль Амрей Ровад  
Одесская государственная академия строительства  
и архитектуры, г. Одесса*

Современные взлетно-посадочные полосы и рулежные дорожки аэропортов чаще всего представляют собой жесткие двухслойные системы, верхний слой которых – это тонкое бетонное покрытие. При строительстве и реконструкции аэродромов необходимо учитывать постоянное повышение требований к безопасности полетов, в том числе обеспечиваемое качеством взлетно-посадочных полос. В сухих и жарких условиях одной из существенных проблем является быстрое испарение влаги из свежего бетона, поэтому необходимо применять комплекс мер, направленных на обеспечение гидратации цемента. Наиболее эффективными методами улучшения свойств бетона можно признать применение ускорителей твердения и пластифицирующих добавок. Для материала аэродромных покрытий важными показателями качества, обеспечивающими его долговечность, являются истираемость, ударостойкость и, в зависимости от климата, морозостойкость. Для повышения данных свойств необходимо вводить в состав бетона полипропиленовую фибру и рациональные наполнители [1].

Свойства модифицированных бетонов и фибробетонов для аэродромных покрытий, изготавливаемых в сухих и жарких условиях, изучались в 5-ти факторном эксперименте, проведенном по 27-ти точечному плану [2]. Варьировались следующие факторы состава бетона [3]:

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

$X_2$  – добавка суперпластификатор поликарбоксилатного типа Carboxymul 1860, от 1% до 1.6% от массы цемента.

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

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

$X_5$  – полипропиленовая фибра Ваусон, от 0 до 1.2 кг/м<sup>3</sup>.

Все смеси имели равную подвижность ОК=14.18 см. Начальное твердение бетона (первые 7 суток) проходило не в стандартных условиях, а при повышенной до 35-40 °С температуре и низкой (35-45%) влажности, что соответствует условиям жарких и сухих стран, а также наиболее «жестким» летним условиям Украины и вызывает быстрое испарение влаги. После 7-ми суток твердения образцы продолжали твердение в сухих условиях при температуре 20-22 °С. В подобных условиях важнейшими свойствами бетона является его ранняя прочность, причем как на сжатие, так и на растяжение. Исследовались свойства композитов на 3-и и 28-е сутки. Анализ влияния состава бетона на его прочность при сжатии в возрасте 3-х суток ( $R_{b,3}$ )

показал, что увеличение количества цемента повышает уровень  $R_{b,3}$ , увеличение дозировки пластификатора Carboxument также повышает прочность за счет снижения водопотребности смеси равной подвижности. Существенно, в среднем на 25%, повышается уровень  $R_{b,3}$  за счет введения 0.8% ускорителя твердения. Важно отметить, что такой прирост получен по сравнению с бетонами без ускорителя, но также интенсивно твердевшими при температуре 35-40 °С, хотя и при постепенном обезвоживании. Замена части цемента наполнителем и введение полипропиленовой фибры оказывают несущественное влияние на уровень  $R_{b,3}$ .

Исследования прочности на растяжение при изгибе в возрасте 3-х суток ( $R_{bt,3}$ ) показали, что увеличение количества цемента, суперпластификатора и введение ускорителя Reba FS (BE) способствует повышению данного показателя на 20-30%. Характерно, что рост прочности при увеличении уровня данных факторов в большей мере ощутим у более прочных бетонов. 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 повышает. Дисперсное армирование фиброй несущественно повышает прочность на растяжение для бетонов с низким количеством цемента и без ускорителя и более ощутимо для высокопрочных составов. Это можно объяснить лучшим заземлением волокон в более прочном бетоне, способствующем проявлению положительного эффекта дисперсного армирования.

Влияние варьируемых факторов состава на величину прочность при сжатии бетонов и фибробетонов для аэродромных покрытий в возрасте 28 суток описывает адекватная ЭС-модель:

$$\begin{aligned}
 R_b \text{ (МПа)} = & 45.6 + 5.6x_1 \pm 0 x_1^2 - 0.6x_1x_2 - 0.6x_1x_3 \pm 0 x_1x_4 \pm 0 x_1x_5 \\
 & + 3.2x_2 \pm 0 x_2^2 + 1.5x_2x_3 \pm 0 x_2x_4 \pm 0 x_2x_5 \\
 & + 3.4x_3 \pm 0 x_3^2 \pm 0 x_3x_4 - 0.6x_3x_5 \\
 & \pm 0 x_4 \pm 0 x_4^2 + 0.6 x_4x_5 \\
 & \pm 0 x_5 - 1.1x_5^5
 \end{aligned} \tag{1}$$

Анализ данной модели позволяет сказать, что наибольшее влияние на величину прочности при сжатии оказывают количество цемента и пластификатора. Количество наполнителя и фибры напротив, несущественно влияет на величину  $R_b$ . Для анализа влияния количества цемента, пластификатора и ускорителя твердения на прочность бетона при сжатии в марочном возрасте по модели (1) была построена диаграмма в виде куба, показанная на рис.1.а. При построении диаграммы количество наполнителя и фибры фиксировалось на среднем значении ( $x_4=x_5=0$ ).

Из диаграмм видно, что положительное влияние ускорителя твердения на прочность сохраняется и в марочном возрасте, поскольку ускоритель позволяет снизить деструктивные явления на ранних сроках твердения, возникшие в результате воздействия высокой температуры при низкой влажности. По мере повышения количества ускорителя от 0 до 0.8% прочность бетона линейно повышается, при этом суммарный рост  $R_b$

достигает 10 МПа. Также увеличивается прочность при сжатии за счет повышения количества портландцемента и добавки-пластификатора.

Анализ влияния варьируемых факторов состава на прочность бетона на растяжение при изгибе в возрасте 28 суток ( $R_{bt}$ ) показал, что увеличение количества цемента и пластификатора практически линейно повышают уровень данного показателя качества. Для отображения влияния количества ускорителя твердения, наполнителя и фибры на величину  $R_{bt}$  по модели, аналогичной (1) была построена показанная на рис.1.б диаграмма ( $x_1=x_2=0$ ).

Как видно из диаграммы, применение дисперсного армирования ощутимо повышает прочность бетона на растяжение при изгибе. За счет замены 5-8% цемента на тонкодисперсный наполнитель уровень  $R_{bt}$  также повышается. По нашему мнению это происходит за счет проявления положительного влияния зерен наполнителя как центров кристаллизации и частиц, влияющих на внутренние напряжения и образование внутренних поверхностей раздела в цементной матрице [1]. Введение ускорителя твердения повышает уровень прочности на растяжение при изгибе бетона аэродромных покрытий аналогично повышению прочности при сжатии.

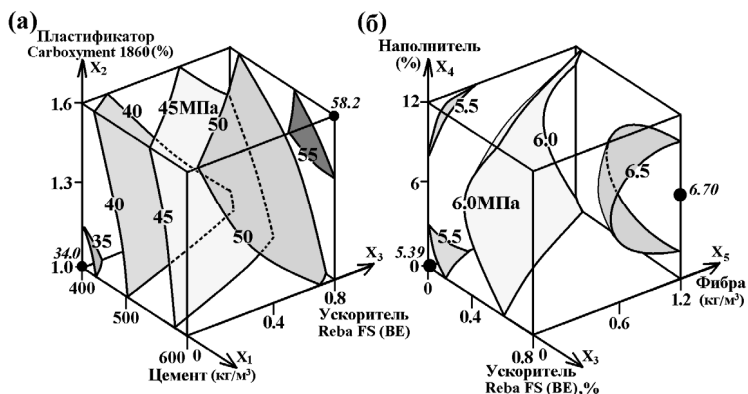


Рис.1. Влияние количества цемента, суперпластификатора и ускорителя твердения на прочность при сжатии бетона (а), а также количества ускорителя твердения, наполнителя и фибры на прочность на растяжение при изгибе бетона (б) в возрасте 28 суток.

Анализ диаграммы позволяет сказать, что наибольшее влияние на величину ударной прочности композитов оказывает количество полипропиленовой фибры. При введении 1.2 кг волокон на м<sup>3</sup> бетона его ударостойкость возрастает примерно в два раза по сравнению с бетоном без дисперсной арматуры практически независимо от уровней остальных четырех факторов. Также ощутимый положительный эффект в повышении ударной прочности бетонов для жарких и сухих условий достигается за счет введения ускорителя твердения – составы, в которые вводилось 0.8 % Reba FS (BE)

показывали в среднем на 30..32% больший уровень Т, чем аналогичные составы без ускорителя. Это объясняется большей прочностью подобных бетонов в условиях быстрой потери влаги, а также меньшим количеством вызванных усадкой внутренних дефектов в структуре материала. Увеличение количества цемента и добавки суперпластификатора также незначительно повышает уровень ударостойкости бетона за счет повышения его прочности.

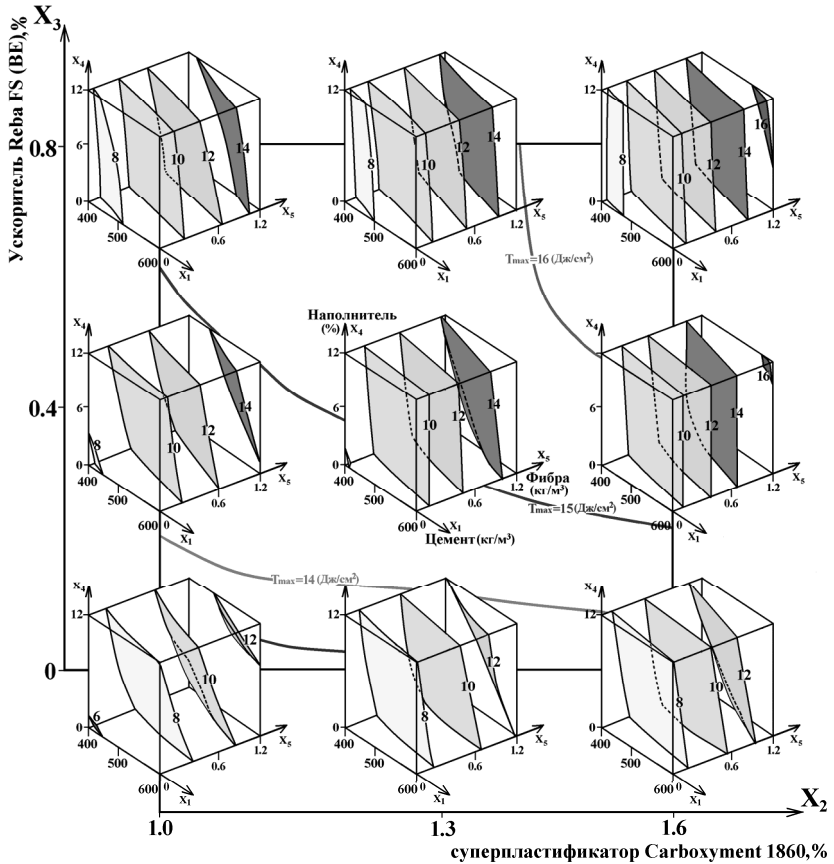


Рис.2. Влияние варьируемых факторов состава на ударостойкость мелкозернистых бетонов и фибробетонов (Дж/см<sup>2</sup>).

Истираемость является важным показателем качества для бетона аэродромных покрытий, обеспечивающим его долговечность, а также безопасность авиатранспорта. Шасси самолетов при движении и, особенно при торможении, оказывают на поверхность покрытия существенное истирающее действие. Помимо того, по взлетно-посадочным и рулежным полосам аэропортов осуществляется движение технологического транспорта, который в большинстве своем является большегрузным. Анализ влияния варьируемых факторов состава мелкозернистого бетона на его истираемость ( $G_1$ ) показал, что наиболее эффективно данный показатель снижается за счет применения дисперсного армирования полипропиленовой фиброй. Составы с содержанием волокон в количестве 1-1.2 кг/м<sup>3</sup> показывают уровень  $G_1$  примерно в два раза ниже аналогичных бетонов без фибры. При повышении количества портландцемента истираемость бетона снижается за счет увеличения прочности материала. Замена до 6..7% цемента на мелкодисперсный наполнитель способствует некоторому снижению уровня  $G_1$ , что можно объяснить снижением количества микродефектов в бетоне, вызывающим рост прочности на растяжение бетонов при таком технологическом приеме. Дальнейшее увеличение количества заменяемого цемента на наполнитель неэффективно. Увеличение количества суперпластификатора способствует плавному снижению истираемости бетона за счет общего увеличения его прочности. Аналогично, за счет повышения прочности при твердении в сухих и жарких условиях, снижается истираемость исследованных мелкозернистых бетонов при введении в их состав ускорителя твердения Reba FS (BE).

В целом проведенные исследования показали, что при изготовлении бетонов аэродромных покрытий, предназначенных для стран с жарким климатом, можно рекомендовать вводить в их состав повышенное до 1.6% количество суперпластификатора Carboxument 1860 и повышенное до 0.8% количество ускорителя твердения Reba FS (BE). Также необходимо применять дисперсное армирование полипропиленовой фиброй в количестве 1-1.2 кг/м<sup>3</sup> и заменять 6-8% цемента на мелкодисперсный кварцевый наполнитель. Описанный комплекс технологических приемов позволяет повысить долговечность работы материала в покрытии за счет его высокой прочности и ударостойкости, а также низкой истираемости, в том числе при твердении в наиболее «жестких» сухих и жарких условиях

### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Выровой В.Н. Бетон в условиях ударных воздействий / В.Н. Выровой, В.С. Дорофеев, С.Б. Фиц. – Одесса: Внешрекламсервис, 2004. – 270 с.
2. Вознесенский В.А. Численные методы решения строительнотехнологических задач на ЭВМ / В.А. Вознесенский, Т.В. Ляшенко, Б.Л. Огарков. – К.: Вища школа, 1989. – 327 с.
3. 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,