БЕТОНЫ И ФИБРОБЕТОНЫ ДЛЯ АЭРОДРОМНЫХ ПОКРЫТИЙ, ИЗГОТАВЛИВАЕМЫХ В УСЛОВИЯХ ЖАРКОГО КЛИМАТА

Мишутин А.В., Атиа Аль Амрей Ровад

(Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса)

Взлетно-посадочные полосы и рулежные дорожки современных аэродромов чаще всего представляют собой жесткие двухслойные системы, верхним слоем которых является бетонное покрытие незначительной толщины. Бетон аэродромных покрытий подвергается воздействию тяжелого авиатранспорта, газов реактивных струй, осадков, увлажнению и высушиванию, замораживанию и оттаиванию. Повышающиеся требования к безопасности полетов и увеличение взлетных масс самолетов вызывают необходимость предъявлять к покрытиям взлетно-посадочных полос и рулежных дорожек все более высокие эксплуатационные требования.

В странах с жарким климатом происходит быстрое обезвоживание бетона, что приводит к значительному ухудшению его свойств. При этом аэродромные покрытия подвержены обезвоживанию в наибольшей степени ввиду их значительной площади, находящейся под прямым солнечным излучением, при небольшой толщине конструкции. Для обеспечения необходимого качества бетона для аэродромных покрытий, изготавливаемых в условиях жаркого климата ,необходимо применяя комплекс мер, направленных на обеспечение гидратации цемента [1], в частности, использовать пластифицирующие добавки и ускорители твердения.

Для повышения таких важнейших для бетона аэродромных покрытий свойств как износостойкость и трещиностойкость можно рекомендовать известный в материаловедении прием — применение дисперсного армирования фиброй. Также целесообразно использование мелкодисперсного наполнителя для управления микроструктурой и свойствами бетона [2].

Экспериментальные исследования свойств модифицированных бетонов и фибробетонов для аэродромных покрытий, эксплуатируемых в странах с жарким климатом, проводились с применением методов компьютерного материаловедения [3]. По 27-ти точечному D-оптимальному плану проводился 5-ти факторный эксперимент, при этом варьировались следующие факторы состава мелкозернистого (максимальная крупность заполнителей 10 мм) бетона [4]:

 X_1 - количества портландцемента марки 500, от 400 до 600 кг/м³;

 X_2 – количество суперпластификатора поликарбоксилатного типа Carboxyment 1860 (фирма Remei, Германия), от 1% до 1.6% от массы цемента.

 X_3 — количество добавки — ускорителя твердения Reba FS (BE) (фирма Remei, Германия), от 0 до 0.8% от массы цемента.

 X_4 — количество тонкодисперсного наполнителя, молотого до удельной поверхности 300 м 2 /кг кварцевого песка, от 0 до 12% от массы цемента. При этом наполнителем заменяется часть цемента.

 X_5 – количество полипропиленовой фибры Baucon, от 0 до 1.2 кг/м³.

Для обеспечения технологичности, необходимой для укладки верхних слоев аэродромных покрытий, все смеси имели равную подвижность ОК от 14 до 18 см, что достигалось изменением количества воды затворения. По результатам определения водопотребности была построена следующая экспериментально-статистическая (ЭС) модель влияния варьируемых факторов на Ц/В смеси равной подвижности (переход к нормализованным переменным выполнен по типовой формуле [3]):

По данной ЭС-модели были построены однофакторные зависимости, показанные на рис.1 и отображают влияние варьируемых факторов состава на величину Ц/В отношения равноподвижных смесей в зонах экстремумов. То есть их линии проходят через точки минимума и максимумам, а четыре не отображенных на каждой из диаграмм фактора фиксируются на уровнях, обеспечивающих соответственно максимальное и минимальное значение выхода (в данном случае — Ц/В). Фактор \mathbf{x}_4 не влияет на уровень Ц/В, все коэффициенты в модели (1) при факторе \mathbf{x}_4 исключены, поэтому на рис.1 показано влияние 4-х факторов.

Как видно из диаграммы, количество ускорителя твердения Reba FS (BE) несущественно влияет на уровень Ц/В смесей, что объясняется спецификой добавки, предназначенной только для ускорения гидратации цемента и не имеющей пластифицирующего эффекта.

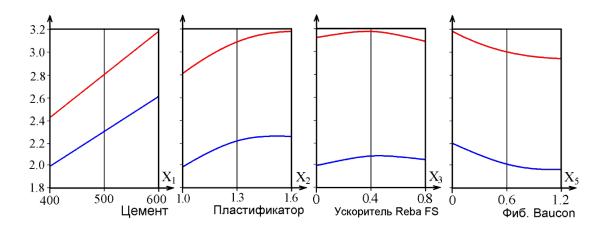


Рис.1. Влияние варьируемых факторов состава на Ц/В отношение в смесях равной подвижности.

Увеличение количества портландцемента линейно повышает Ц/В смеси. Увеличение количества суперпластификатора Carboxyment 1860 от 1 до 1.3% существенно повышает уровень Ц/В, а дальнейшее увеличение дозировки добавки, до 1.6%, уже не вызывает значительного снижения водопотребности и, соответственно, повышения Ц/В смеси равной подвижности. Введение волокон полипропиленовой фибры Ваисоп вынуждает повысить количество воды затворения для сохранения подвижности и тем самым несколько снижает Ц/В смеси. Однако в большей степени данный эффект проявляется при введении 0,6...0,8 кг фибры на 1м³ бетона, дальнейший рост дозировки волокон уже несущественно влияет на уровень Ц/В.

Как отмечалось выше, в условиях жаркого климата важнейшим свойством бетона является его ранняя прочность. В наших исследованиях прочность композитов исследовалась после 3-х и 7-ми суток твердения. При этом образцы хранились не в стандартных условиях, а при повышенной до 35-40 °C температуре и низкой (35-45%) влажности, что соответствует условиям твердения аэродромных покрытий в жарких странах и вызывает быстрое испарение влаги из бетона. Влияние количества портландцемента, суперпластификатора и ускорителя твердения на прочность при сжатии бетона в возрасте 3-х и 7-ми суток ($R_{b.3}$ и $R_{b.7}$ соответственно) отображено на построенных

по соответствующим ЭС-моделям диаграммам в виде кубов, показанных на рис.2. При построении обоих диаграмм количество наполнителя и фибры зафиксировано на среднем уровне (x_4 = x_5 =0).

Как видно из диаграмм, увеличение количества цемента, естественно, повышает прочность бетона как в возрасте 3-х суток, так и 7-ми суток. Увеличение дозировки пластификатора Carboxyment также повышает прочность за счет снижения водопотребности смеси равной подвижности.

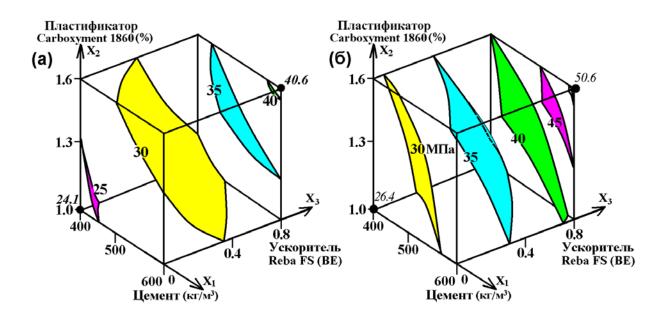


Рис.2. Влияние количества цемента, суперпластификатора и ускорителя твердения на прочность при сжатии бетона в возрасте 3-х (а) и 7-ми (б) суток.

Весьма существенно, в среднем на 25%, повышается уровень прочности при сжатии после 3-х суток твердения за счет введения 0.8% ускорителя твердения Reba FS (BE). Важно отметить, что такой прирост получен по сравнению с бетонами, твердевшими при температуре 35-40 °C, то есть также интенсивно набирающими прочность, хотя и при постепенном обезвоживании. В возрасте 7-ми суток количество ускорителя твердения Reba FS (BE) оказывает более существенное влияние на прочность по сравнению с влиянием на 3-и сутки. Так, если прочность составов без ускорителя на 7-е сутки изменилась по сравнению с 3-ми сутками незначительно, на 1..3 МПа, («ближние» грани по оси x_3 на рис.2.a и рис.2.б), то у составов с максимальным количеством ускорителя уровень $R_{b.7}$ выше по сравнению с $R_{b.3}$ примерно на 10 МПа. Данный эффект объясняется тем, что в жарких условиях при низкой влажности происходит быстрое обезвоживание бетона, и составы без ускорителя практически прекращают твердение.

Для бетона аэродромных покрытий, ввиду специфики испытываемых нагрузок, не менее важным показателем можно считать прочность на растяжение при изгибе. Помимо того, прочность на растяжение во многом обуславливает стойкость композита к растрескиванию в условиях интенсивной влажностной усадки.

Влияние варьируемых факторов состава на величину прочности бетона на растяжение при изгибе в трехдневном возрасте описывает приведенная ниже ЭС-модель:

Диаграмма в виде «квадраты на квадрате», построенная по данной модели, показана на рис.3. Поскольку подобная диаграмма отображает влияние одновременно только 4-х независимых факторов, при ее построении фактор x_1 фиксировался на среднем уровне (500 кг цемента на 1 m^3). В качестве несущего квадрата выбраны факторы - суперпластификатор Carboxyment 1860 (x_2) и добавка ускоритель твердения Reba FS (BE) (x_3). Поля, отображающие влияние количества наполнителя (x_4) и фибры (x_5), построены в девяти точках. В поле несущего квадрата показаны изолинии максимальных значений прочности на растяжение, которые могут быть достигнуты при фиксированном соотношении суперпластификатор Carboxyment 1860 (x_2) и добавка ускоритель твердения Reba FS (BE) (x_3) при варьировании количества наполнителя и фибры.

позволяет Анализ диаграммы сказать, что vвеличение количества суперпластификатора и введение ускорителя твердения способствует повышению прочности на растяжение при изгибе в возрасте 3-х суток на 20-30%. Однако повышение количества Carboxyment 1860 до 1.6% от массы цемента оказывается эффективным только для составов с ускорителем твердения – величина $R_{bt,3}$ для бетонов без ускорителя ($x_3 = -$ 1) практически не изменяется при варьировании уровня фактора (суперпластификатора). Важно отметить, что данный эффект проявился не в стандартных условиях твердения, а при повышенной температуре и низкой влажности. Замена 4-7% цемента на наполнитель (х₄) повышает значение R_{bt} 3. в среднем на 8-10% практически независимо от уровней других факторов. Аналогичный рост прочности на растяжение при изгибе (9-12%) достигается за счет дисперсное армирование фиброй (x_5).

После 7-ми суток твердения также была исследована прочность бетона на растяжение при изгибе. Можно сказать, что положительное влияние дисперсного армирования на величину прочности на растяжение при изгибе в данном возрасте проявляется более явно. Данный эффект можно объяснить общим повышением прочности структуры бетона, и соответственно, улучшением защемления волокон полипропиленовой фибры. Также характерно увеличение роли наполнителя — при замене около 6-8% цемента на молотый кварцевый песок уровень $R_{\rm bt.7}$ повышается в среднем на 0.5 МПа. Это можно объяснить положительным влиянием зерен наполнителя на структурообразование цементной матрицы.

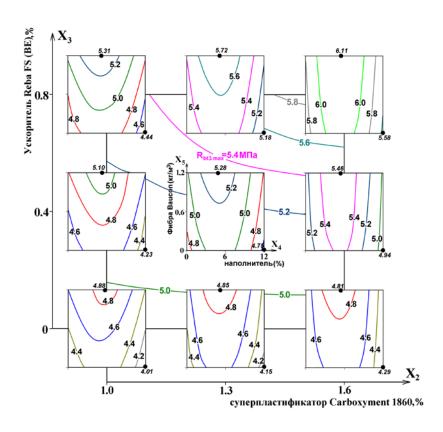


Рис.3. Влияние количества, суперпластификатора, ускорителя твердения, наполнителя и фибры на прочность при сжатии бетона в возрасте 3-х суток.

В целом, результаты проведенных исследований позволяют рекомендовать для бетона верхних слоев аэродромных покрытий, предназначенных для стран с жарким климатом, использование следующих технологические приемов:

- введение в состав бетона повышенное до 1.6% от массы цемента количество суперплатификатора Carboxyment 1860. Эффективный пластификатор позволяет обеспечить необходимую технологичность смеси при сохранении высоких механических свойств бетона.
- введение 0.8% ускорителя твердения Reba FS (BE). Ускоритель твердения позволяет обеспечить лучшую гидратацию цемента и препятствовать деструкции материала при значительной ранней влажностное усадке.
- применение дисперсного армирования: 1-1.2 кг/м³ фибры Baucon. Введение фибры повышает прочность бетона на растяжение, и как также показывают проведенные на других этапах работы исследования, повышает ударостойкость материала и снижает его истираемость.
- замена 7-10% цемента на мелкодисперсный кварцевый наполнитель, что положительно влияет на величину прочности на растяжение при изгибе. Также замена части цемента на наполнитель, как показывают наши исследования, улучшает микроструктуру бетона, не сказывается на величине прочности на сжатие бетона и позволяет снизить себестоимость материала при повышении его качества.

SUMMARY

The influence of cement, plasticizer, hardening accelerator, filler and polymer fibers on the strength of concrete airfield pavement at an early age. Hardening of concrete occurred in the hot and dry conditions. It is shown that the introduction of the optimal number of filler, fiber and additives to enhance the quality of concrete in terms of dehydration.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Евдокимов Н.И. Технология монолитного бетона и железобетона / Н.И. Евдокимов, А.Ф. Мацкевич, В.С. Сытник. М.: Высшая школа, 1980. 335 с.
- 2. Мишутин А.В. Влияние дисперсного армирования полимерными фибрами и наполнителя на свойства бетона для тонкостенных конструкций / А.В. Мишутин, С.А. Кровяков, Е.А. Гапоненко // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури, Випуск 27 Одеса: Місто майстрів, 2007, С. 246-251.
- 3. 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.
- 4. Атиа Аль Амрей Ровад Бетон аэродромных покрытий в условиях жаркого климата Ирака / Атиа Аль Амрей Ровад, А.В. Мишутин // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури, Випуск 37 Одеса: ЗРС, 2010, С. 22-27.