

ВЛИЯНИЕ НАЧАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ТВЕРДЕНИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФИБРОБЕТОНОВ АЭРОДРОМНЫХ ПОКРЫТИЙ

Мишутин А.В., Атия Аль Амрей Ровад (*Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса*)

При будівництві сучасних аеродромів необхідно враховувати збільшення взлітних мас нових поколінь літаків й постійне посилення вимог до безпеки польотів. У більшості великих аеропортів взльотно-посадочні смуги і рульовні доріжки являють із себе жорсткі двошарові системи, верхній шар яких – це тонке бетонне покриття.

При строительстве аэропортов в странах с жарким климатом одной из существенных проблем является быстрое обезвоживание бетона покрытий взлетно-посадочных полос, что приводит к значительному ухудшению его свойств. Для снижения негативных последствий обезвоживания бетона необходимо применять комплекс мер, направленных на обеспечение гидратации цемента [1]. Наиболее эффективными методами улучшения свойств бетона, твердеющего в жарких и сухих условиях, является применение ускорителей твердения и пластифицирующих добавок.

Для аэродромных покрытий важными показателями качества бетона являются истираемость и ударостойкость. Для повышения данных специфических свойств рекомендуется вводить в состав бетона полипропиленовую фибру [2]. Также эффективно управлять свойствами бетона, в том числе стойкостью к динамическим воздействиям, можно за счет введения рациональных наполнителей [3].

Для исследования свойств модифицированных бетонов и фибробетонов для аэродромных покрытий, эксплуатируемых в жарком климате, по 27-ти точечному D-оптимальному плану проводился 5-ти факторный эксперимент [4]. Варьировались следующие факторы состава мелкозернистого бетона:

X₁ – количества портландцемента марки 500, от 400 до 600 кг/м³;

X₂ – количество добавки суперпластификатора поликарбок-силатного типа Carboxument 1860, от 1% до 1.6% от массы цемента.

X₃ – количество добавки – ускорителя твердения Reba FS (BE), от 0 до 0.8% от массы цемента. Обе добавки производства фирмы Remei, Германия.

X₄ – количество тонкодисперсного наполнителя, кварцевого песка удельной поверхностью 300 м²/кг, от 0 до 12% от массы цемента. При этом наполнителем заменяется часть цемента.

X₅ – количество полипропиленовой фибры Vauson, от 0 до 1.2 кг/м³.

Все смеси имели равную подвижность (ОК= 14..18 см) за счет изменения количества воды затворения, т.е. В/Ц зависело от состава и изменялось в пределах от 0,32 до 0,45. Анализ изменения В/Ц показал [5,6], что при замене части цемента на кварцевый наполнитель аналогичной дисперсности водопотребность смеси не изменяется. Несущественно на В/Ц смеси влияет количество ускорителя твердения (x₃). Введение суперпластификатора снижает водопотребность, и соответственно В/Ц смеси. Аналогично в смесях равной подвижности снижается В/Ц отношение при увеличении количества цемента. Введение фибры, напротив, требует незначительного увеличения количества воды затворения для сохранения технологичности смеси.

Начальное твердение бетона (первые 7 суток) в экспериментальных исследованиях проходило не в стандартных условиях, а при повышенной до 35-40 °С температуре и низкой (35-45%) влажности, что соответствует условиям жарких странах и вызывает быстрое испарение влаги из бетона. После 7-ми суток твердения образцов при повышенной температуре и

пониженной влажности все исследуемые бетоны разделялись на две серии. Первая серия, индекс d, продолжала твердение в сухих условиях (влажность 35-45%), а вторая серия, индекс n, в нормальных (100% влажность). При этом температура при твердении обеих серий с 8-х суток поддерживалась на уровне 20-22 °С.

В условиях жаркого климата важнейшим свойством бетона является его ранняя прочность [5,6]. В наших исследованиях прочность композитов исследовалась на 3-и, 7-е и 28-е сутки. Влияние варьируемых факторов состава на величину прочности при сжатии бетона в трехдневном возрасте ($R_{b,3}$) описывает приведенная ниже экспериментально-статистическая (ЭС) модель:

$$\begin{aligned}
 R_{b,3} = 30.6 + 2.6x_1 \pm 0 x_1^2 + 1.0x_1x_2 \pm 0x_1x_3 \pm 0x_1x_4 \pm 0 x_1x_5 \\
 + 2.4x_2 \pm 0 x_2^2 + 0.7x_2x_3 \pm 0x_2x_4 \pm 0x_2x_5 \\
 + 3.3x_3 \pm 0 x_3^2 \pm 0x_3x_4 \pm 0x_3x_5 \\
 - 0.4x_4 + 0.8x_4^2 - 0.4x_4x_5 \\
 - 0.8x_5 - 1.1x_5^5
 \end{aligned} \quad (1)$$

Анализ модели (1) позволяет сказать, что увеличение количества цемента повышает прочность бетона, увеличение дозировки пластификатора Carboxument также повышает прочность за счет снижения водопотребности смеси равной подвижности. Весьма существенно, в среднем на 25%, повышается уровень $R_{b,3}$ 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 °С, то есть также интенсивно набирающими прочность, хотя и при постепенном обезвоживании. Замена части цемента тонкодисперсным наполнителем (x_4) и введение полипропиленовой фибры (x_5) оказывают незначительное влияние на уровень $R_{b,3}$.

Для аэродромных покрытий не менее важным показателем является прочность на растяжение ввиду специфики испытываемых нагрузок. Помимо того, прочность на растяжение во многом обуславливает стойкость композита к растрескиванию в условиях влажностной усадки, интенсивно происходящей в жарком климате. По ЭС-модели, аналогичной (1) были построены однофакторные зависимости, показанные на рис.1 и отображают влияние варьируемых факторов состава на прочность на растяжение при изгибе в возрасте 3-х суток в зонах минимума и максимума.

Анализ данных диаграмм позволяет сказать, что увеличение количества цемента, суперпластификатора Carboxument и введение ускорителя Reba FS (BE) способствует повышению прочности на растяжение при изгибе на 20-30%. Характерно, что рост прочности при увеличении уровня данных факторов происходит в большей мере в зоне максимумов, то есть у более прочных бетонов. Замена части цемента наполнителем незначительно влияет на прочность на растяжение при изгибе, однако при количестве молотого песка в диапазоне 5-10% уровень $R_{bt,3}$ даже несколько повышается. Дисперсное армирование фиброй незначительно изменяет прочность на растяжение в зоне минимума и более ощутимо – в зоне максимума. Это можно объяснить лучшим зацеплением волокон в более прочном бетоне, способствующем проявлению положительного эффекта дисперсного армирования.

Исследования физико-механических характеристик бетона после 7-ми суток твердения показали, что положительное влияние дисперсного армирования на величину прочности на растяжение при изгибе в проявляется более явно. Это можно объяснить общим повышением прочности структуры бетона, и соответственно, улучшением зацепления волокон полипропиленовой фибры. Также увеличилось влияние наполнителя – при замене около 6-8% цемента на молотый кварцевый песок уровень $R_{bt,7}$ повышается в среднем на 0.5 МПа, что объясняется положительным влиянием тонкодисперсных зерен на структурообразование цементной матрицы.

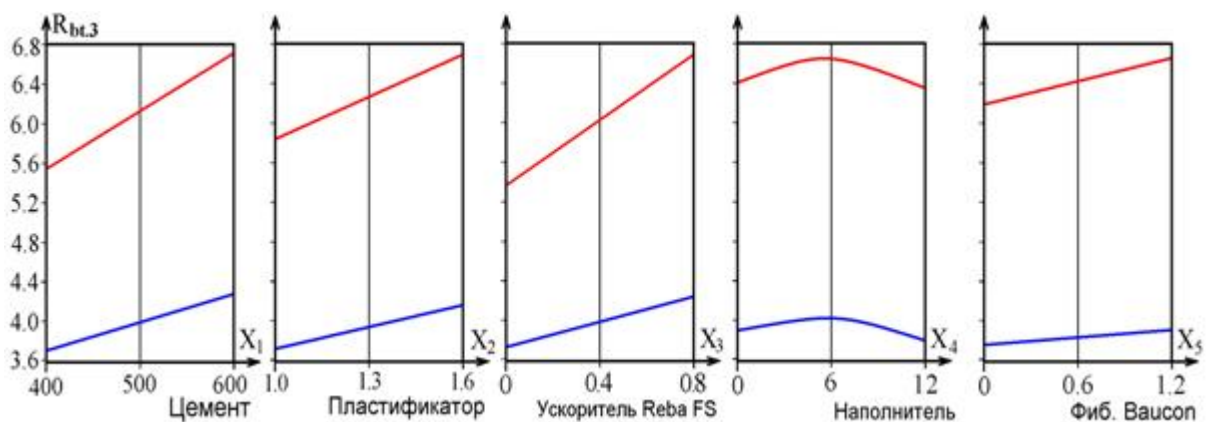


Рис.1. Влияние варьируемых факторов состава на прочность на растяжение при изгибе бетона в возрасте 3-х суток в зонах максимума и минимум

Влияние варьируемых факторов состава на величину прочность при сжатии бетонов и фибробетонов для аэродромных покрытий после 28 суток хранения образцов в сухих условиях (индекс d), а также после 7 суток хранения в сухих и затем еще 21-х суток хранения в нормальных условиях (индекс n) описывают адекватные ЭС-модели:

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

$$\begin{aligned}
 R_{b,n} \text{ (МПа)} = & 54.4 + 6.5x_1 \pm 0 x_1^2 - 0.8x_1x_2 - 0.5x_1x_3 \pm 0 x_1x_4 \pm 0 x_1x_5 \\
 & + 3.5x_2 \pm 0 x_2^2 + 1.2x_2x_3 \pm 0 x_2x_4 \pm 0 x_2x_5 \\
 & + 1.6x_3 - 1.7 x_3^2 \pm 0 x_3x_4 - 0.7x_3x_5 \\
 & + 0.4 x_4 \pm 0 x_4^2 + 0.8 x_4x_5 \\
 & \pm 0 x_5 - 1.0x_5^5
 \end{aligned} \tag{3}$$

Анализ данных моделей позволяет сказать, что независимо от условий твердения бетона в последние 21 сутки (из 28-ми «марочных» суток) наибольшее влияние на величину прочности при сжатии оказывают количество цемента и пластификатора. Количество наполнителя и фибры напротив, несущественно влияет как на величину $R_{b,d}$, так и на величину $R_{b,n}$.

Для более глубокого анализа совместного влияния количества цемента, пластификатора и ускорителя твердения прочность бетона при сжатии в марочном возрасте при разных условиях хранения по моделям (2) и (3) были построены диаграммы в виде куба, показанные на рис.2. При построении диаграмм количество наполнителя и фибры фиксировалось на среднем значении ($x_4=x_5=0$).

Из диаграмм видно, что характер и масштаб влияния ускорителя твердения Reba FS (BE) на прочность бетона в марочном возрасте существенно зависит от условий твердения композита. Так в сухих условиях хранения в течение всех 28-ми суток по мере повышения количества ускорителя от 0 до 0.8% от массы цемента прочность бетона линейно повышается, при этом суммарный рост величины $R_{b,d}$ в среднем достигает величины 10 МПа.

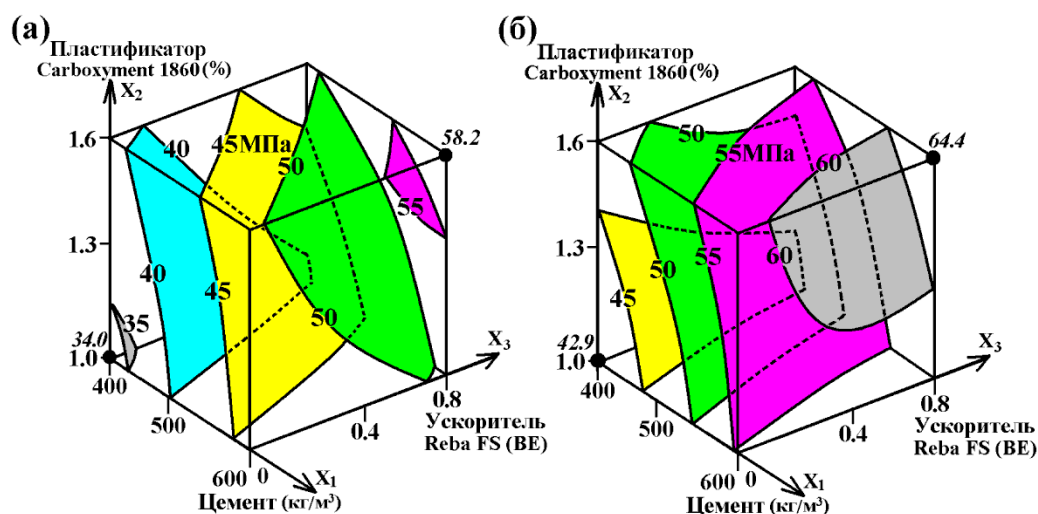


Рис.2. Влияние количества цемента, суперпластификатора и ускорителя твердения на прочность при сжатии бетона после 28 суток хранения образцов в сухих условиях (а), после 7 суток хранения в сухих и затем еще 21-х суток хранения в нормальных условиях (б).

В условиях нормального хранения образцов с 8-х до 28-х суток увеличение количества ускорителя от 0% до 0.4% вызывает ощутимый рост прочности – на 5-7 МПа. Дальнейшее же увеличение количества ускорителя твердения Reba FS (BE) практически не сказывается на величине марочной прочности бетонов и фибробетонов. Данный факт можно объяснить гидратацией цемента в бетоне, помещенного в условия 100% влажности (нормальные). Несомненно, гидратация цемента продолжалась и в условиях «сухого» твердения, поскольку влажность бетона также не являлась нулевой, однако интенсивность гидратации в нормальных условиях была значительно выше.

В целом положительное влияние ускорителя твердения на прочность в марочном возрасте сохраняется не зависимо от условий хранения бетона с 8-х по 28-е сутки, поскольку ускоритель позволяет снизить деструктивные явления на ранних сроках твердения, возникшие в результате воздействия высокой температуры и низкой влажности.

Анализ влияния варьируемых факторов состава на прочность бетона на растяжение при изгибе в возрасте 28 суток 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 прочности на растяжение при изгибе бетона в возрасте 28 суток при разных условиях твердения по моделям, аналогичным (2) и (3) были построены показанные на рис.3 диаграммы в виде кубов.

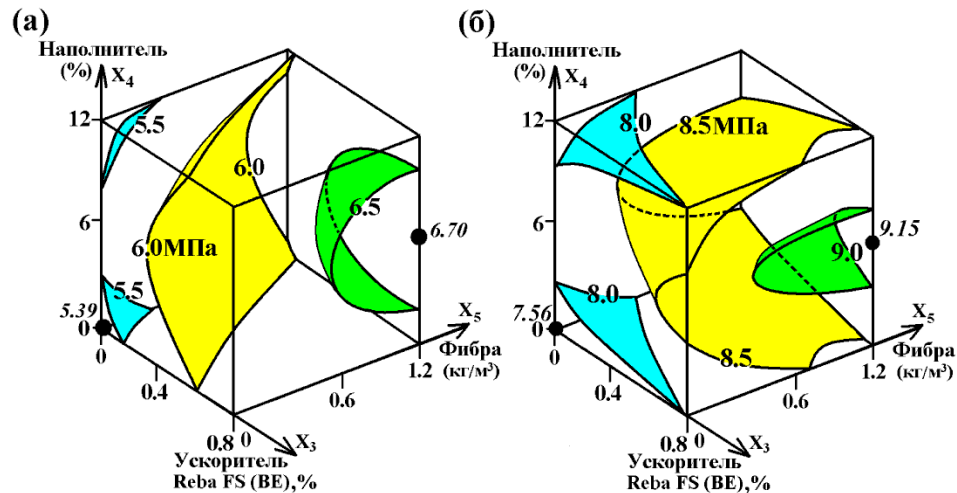


Рис.3. Влияние количества ускорителя твердения, наполнителя и фибры на прочность на растяжение
на растяжение
при изгибе бетона после 28 суток хранения образцов в сухих условиях (а), после 7
суток хранения в
сухих и затем еще 21-х суток хранения в нормальных условиях (б).

Как видно из диаграмм, независимо от условий твердения применение дисперсного армирования ощутимо повышает прочность бетона на растяжение при изгибе. За счет замены 5-7% цемента на тонкодисперсный наполнитель также уровень R_{bt} также повышается, причем более ощутимо для составов, хранившихся после 7-х суток в нормальных условиях. Последнее можно объяснить тем, что при 100% влажности прошла более полная гидратация цемента и, соответственно, в большей мере проявилось положительное влияние зерен наполнителя как центров кристаллизации и частиц, влияющих на внутренние напряжения и образование внутренних поверхностей раздела в цементной матрице. Введение ускорителя твердения повышает уровень прочности на растяжение при изгибе бетона аэродромных покрытий аналогично повышению прочности при сжатии. Т.е. при твердении в течение всех 28-ми суток в сухих условиях (рис.3.а) более ощутимо, чем при твердении в течение 7-ми дней сухих условий и 21 день в нормальных (рис.3.б). Также важно отметить, что прочность на растяжение при изгибе составов, твердевших последний 21 день в нормальных условиях, была в среднем на 1.5 МПа прочности аналогичных составов, постоянно хранившихся в сухих условиях.

Таким образом, при изготовлении бетонов верхних слоев аэродромных покрытий, предназначенных для стран с жарким климатом, можно рекомендовать вводить в его состав следующий комплекс модификаторов:

- а) повышенное до 1.6% от массы цемента количество суперплатификатора Carboxument 1860,
- б) дисперсное армирование полипропиленовой фиброй (1-1.2 кг/м³)
- в) заменять 6-9% цемента на мелкодисперсный кварцевый наполнитель.
- г) в зависимости от условий твердения покрытий в его состав можно рекомендовать вводить от 0.4% до 0.8% ускорителя твердения Reba FS (BE).

Вывод

Описанный комплекс технологических приемов позволяет получить материал с необходимой подвижностью смеси при обеспечении высоких механических свойств бетона, в том числе при твердении в наиболее «жестких» сухих и жарких условиях.

SUMMARY

Investigated the influence of filler, fiber, plasticizer and the accelerator on the strength of concrete airfield pavements. Concrete hardening took place at high temperature and low humidity. Shown a positive effect of modifiers and fiber strength. It is shown that, depending on the humidity of the optimum amount of plasticizer varies.

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. Рабинович Ф.Н. Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции / Ф.Н. Рабинович. — М.: Издательство АСВ, 2004. — 560 с.
3. Выровой В.Н. Бетон в условиях ударных воздействий / В.Н. Выровой, В.С. Дорофеев, С.Б. Фиц. – Одесса: Внешрекламсервис, 2004. – 270 с.
4. 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.
5. 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.
6. Атия Аль Амрей Ровад. Фибробетоны для аэродромных покрытий, изготавливаемых в жарких условиях / Атия Аль Амрей Ровад, А.В. Мишутин // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Випуск 2010-5(85). Том II. – Макіївка: ДонНАБА, 2010 – С.327-333.