

УДК 691.32

КОМПЛЕКСНАЯ МОДИФИКАЦИЯ БЕТОНОВ ЖЕСТКИХ ДОРОЖНЫХ И АЭРОДРОМНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ТВЕРДЕНИЯ В ЖАРКИХ И СУХИХ УСЛОВИЯХ

КОМПЛЕКСНА МОДИФІКАЦІЯ БЕТОНІВ ЖОРСТКИХ ДОРОЖНИХ І АЕРОДРОМНИХ ПОКРИТТІВ ДЛЯ ТВЕРДЕННЯ У ЖАРКИХ І СУХИХ УМОВАХ

MODIFICATION OF INTEGRATED CONCRETE HARD ROAD AND AIRPORT PAVING FOR HARDENING IN HOT AND DRY CONDITIONS

Мишутин А.В., д.т.н., проф., Ал-Амрей Ровад А.А. к.т.н. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса)

Мішутін А.В., д.т.н., проф., Ал-Амрей Ровад А.А. к.т.н. (Одеська державна академія будівництва та архітектури, м. Одеса)

Mishutin A. V., doctor of technical sciences, professor, Al-Amrey Rovad A. A. candidate of technical sciences. (Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odessa)

Разработаны составы бетонов и фибробетонов для жестких дорожных и аэродромных покрытий, изготавливаемых в сухих и жарких условиях, модифицированные поликарбоксилатным пластификатором, ускорителем твердения и наполнителем. Данные составы обеспечивают повышенные физико-механические характеристики и долговечность материала.

Розроблено склади бетонів і фібробетонів для жорстких дорожніх і аеродромних покриттів, що виготовляються в сухих і жарких умовах, модифікованих полікарбоксилатним пластифікатором, прискорювачем тверднення і наповнювачем. Дані склади забезпечують підвищені фізико-механічні характеристики і довговічність матеріалу.

The composition of concrete and fiber concrete for hard road and airfield pavements, which are produced in dry and hot conditions, modified polycarboxylate plasticizer, hardening accelerator and filler. These compositions provide improved physical and mechanical properties and durability of the material.

Ключевые слова:

Бетон, фибробетон, модификатор, суперпластификатор.

Бетон, фібробетон, модифікатор, суперпластифікатор.

Concrete, reinforced concrete, modifier, superplasticizer.

Доля жестких дорожных покрытий в современном транспортном строительстве возрастает год от года, при этом, например, для взлетно-посадочных полос жесткие покрытия являются фактически единственным решением, обеспечивающим современные требования по безопасности и долговечности [1]. В странах Ближнего Востока а также в летний период в Украине одной из существенных проблем при выполнении бетонных работ является быстрое испарение влаги, что приводит к ухудшению свойств материала. Особенно это актуально для тонких покрытий.

Выполнение полного комплекса мероприятий по уходу за бетоном в условиях значительных площадей дорог и аэродромов не всегда представляется возможным. С целью обеспечения необходимой структуры и соответственно свойств бетона до его обезвоживания необходимо применять комплекс мер, направленных на обеспечение гидратации цемента. Наиболее эффективными методами в подобных условиях является применение ускорителей твердения и пластификаторов. Для жестких покрытий важными показателями качества также являются износостойкость, ударостойкость и трещиностойкость, повысить которые можно за счет применения фибры.

Целью исследований являлась разработка модифицированных пластифицирующей и ускоряющей добавками и наполнителем составов бетонов и фибробетонов для дорожных и аэродромных покрытий с улучшенными физико-механическими характеристиками в жарких и сухих условиях. На рис.1 показаны примеры устройства жестких дорожных и аэродромных покрытий.

Эксперимент проводился по 5-ти факторному 27-ти точечному D-оптимальному плану [2]. Варьировались следующие факторы состава: X_1 – портландцемент марки 500, от 400 до 600 кг/м³; X_2 – добавка суперпластификатор поликарбоксилатного типа Carboxyment 1860, от 1% до 1.6 % от массы цемента; X_3 – добавка ускоритель твердения RebaFS (BE), от 0 до 0.8 % от массы цемента (обе добавки производства фирмы Remei, Германия); X_4 – тонкодисперсный наполнителя, молотый до удельной поверхности 300 м²/кг кварцевый песок, от 0 до 12% от массы цемента; X_5 – полипропиленовая фибра Vaucon, от 0 до 1.2 кг/м³.

Все смеси имели равную подвижность ($OK = 14..18$ см), соответственно В/Ц зависело от состава и изменялось в пределах от 0.32 до 0.45. Анализ изменения В/Ц показал, что введение наполнителями ускорителя твердения несущественно влияет на водопотребность смеси, а введение пластификатора

и увеличение количества цемента снижает В/Ц в смесях равной подвижности.



Рис.1. Примеры устройства жестких дорожных и аэродромных покрытий

Введение фибры, напротив, требует незначительного увеличения количества воды затворения для сохранения технологичности.

Начальное твердение образцов проходило при повышенной до 35..40°С температуре, первые сутки при 100% влажности, далее при 40..50% влажности. Это имитировало жесткие условия устройства дорожных и аэродромных покрытий в жарком климате. В подобных условиях важным свойством бетона является его ранняя прочность, причем как на сжатие, так и на растяжение. Обеспечение ранней прочности позволяет материалу в меньшей степени подвергаться деструкции в результате быстрой усадки [3,4].

Анализ влияния состава исследованных бетонов и фибробетонов на их прочность при сжатии в возрасте 3-х суток показал, что увеличение количества цемента и пластификатора Carboxyment повышает данный показатель качества. Ощутимо, в среднем на 25%, повышается ранняя прочность 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 портландцемента, пластификатора и введение ускорителя RebaFS (BE) также на 20-30% повышает прочность на растяжение при изгибе в возрасте 3-х суток. Введение наполнителя несущественно влияет на данный показатель качества, однако при количестве молотого песка в диапазоне 5-8% уровень прочности на растяжение при изгибе несколько повышается. Армирование фиброй ощутимо повышает прочность бетона на растяжение при изгибе в возрасте 3-х суток, причем большей степени для высокопрочных составов, что можно объяснить лучшим заземлением волокон в матрице.

Анализ влияния варьируемых факторов на прочность при сжатии бетонов и фибробетонов для дорожных и аэродромных покрытий в возрасте 28-ми суток позволил сделать вывод, что наибольшее влияние на данный показатель оказывают количество цемента и пластификатора – при увеличении уровней данных факторов прочность возрастает. Количество наполнителя и фибры напротив, несущественно влияет на данный показатель качества. Положительное влияние ускорителя твердения на прочность сохраняется и в возрасте 28-ми суток, поскольку ускоритель позволяет снизить деструктивные явления на ранних сроках твердения, возникшие в результате быстрого обезвоживания. По мере повышения количества ускорителя до 0.8% прочность бетона линейно повышается, а ее суммарный рост достигает 10 МПа.

Анализ изменения прочности бетона на растяжение при изгибе в возрасте 28-ми суток (f_{ctk}) показал, что увеличение количества цемента и пластификатора практически линейно повышают уровень данного показателя качества. Применение дисперсного армирования ощутимо повышает прочность бетона на растяжение при изгибе. Также повышается уровень f_{ctk} за счет введения 5-8% тонкодисперсного наполнителя. Данный эффект можно объяснить проявлением положительного влияния зерен наполнителя как центров кристаллизации и частиц, влияющих на внутренние напряжения и образование внутренних поверхностей раздела в цементной матрице [5]. Введение ускорителя твердения повышает уровень прочности на растяжение при изгибе бетона дорожных и аэродромных покрытий аналогично повышению прочности при сжатии.

Для дорожных и аэродромных покрытий важными показателями качества являются истираемость и ударостойкость бетона, поскольку колеса автомобилей и шасси самолетов при движении и, особенно при торможении, оказывают на поверхность покрытия существенное истирающее действие, а при посадке воздушного судна происходит динамический удар поверхности полосы. Таким образом, стойкость материала покрытий к истиранию и ударам является важным показателем, обеспечивающим его долговечность, а также безопасность транспорта.

Анализ истираемости исследованных бетонов и фибробетонов показал, что данный показатель наиболее эффективно снижается за счет применения дисперсного армирования полипропиленовой фиброй. Составы с содержанием волокон в количестве 1-1.2 кг/м³ 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. Введение 6..7% мелкодисперсного наполнителя способствует некоторому снижению уровня G_1 , что можно объяснить снижением количества микродефектов в бетоне. Увеличение количества суперпластификатора Carboximents способствует плавному снижению истираемости бетона за счет общего увеличения его прочности. Аналогично, за счет повышения прочности при твердении в сухих и жарких условиях, улучшается износостойкость исследованных бетонов при введении в их состав ускорителя твердения RebaFS (BE).

Анализ влияния варьируемых факторов состава на ударостойкость (Т) бетона позволил сделать вывод, что наиболее ощутимо данный показатель повышается за счет дисперсного армирования. При введении 1.2 кг фибры на м³ бетона его ударостойкость возрастает примерно в два раза по сравнению с бетоном без дисперсной арматуры практически независимо от уровней остальных факторов. Также положительный эффект в повышении ударной прочности бетонов для жарких и сухих условий достигается за счет введения ускорителя твердения – составы, в которые вводилось 0.8 % RebaFS (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 суперпластификатора также несколько повышают ударостойкость бетона за счет повышения его прочности.

Анализ усадки исследованных бетонов показал, что при введении 6..7% тонкодисперсного наполнителя величина усадки снижается, причем данный эффект более ощутим в возрасте 28-ми суток. Существенно снижается усадка композита в сухих и жарких условиях за счет применения ускорителя твердения. Важно отметить, что ускоритель оказывает наиболее существенное влияние на ранних сроках твердения, т.е. с 1-х по 8-и сутки, но положительная тенденция сохраняется и до возраста 28-ми суток. Совместное введение ускорителя твердения и наполнителя дает наибольший технический результат в снижении усадочных деформаций бетона, твердеющего в сухих и жарких условиях. В целом снижение усадки исследованных бетонов дорожных и аэродромных покрытий за счет применения ускорителя твердения и наполнителя, а также повышения количества пластификатора свидетельствует о позитивной роли данных

технологических приемов в процессе структурообразования цементных композитов в сухих и жарких условиях.

При эксплуатации в регионах с сухим жарким климатом конструкции дорог, а также взлетно-посадочных и рулежных полос подвергаются многократному нагреву и охлаждению, причем наиболее и интенсивно данное воздействие для верхнего слоя конструкции – покрытия. Известно, что выносливость бетона в условиях многократного нагревания и охлаждения во многом может быть оценена его морозостойкостью [6]. Помимо того в горных районах стран Ближнего Востока в зимний период типичным является ночной переход температуры через 0 градусов, т.е. бетон покрытий также подвергается замораживанию и оттаиванию, хотя и не в очень «жестких» условиях. А в климатических условиях Украины морозное разрушение можно считать наиболее распространенной причиной выхода из строя дорожных конструкций.

В соответствии с действующими нормативами для дорожных (аэродромных) бетонов их морозостойкость ограничивается 3% потери массы, т.к. большая потеря (шелушение) влияет на безопасность движения, а для аэродромных покрытий – полетов. Влияние варьируемых факторов состава на морозостойкость модифицированных бетонов и фибробетонов описывает приведенная ниже экспериментально-статистическая модель:

$$\begin{aligned}
 F(\text{циклы}) = & 295.2 + 26.7x_1 \pm 0 x_1^2 - 4.4x_1x_2 \pm 0 x_1x_3 + 4.4x_1x_4 + 4.4x_1x_5 \\
 & + 18.9x_2 \pm 0 x_2^2 - 6.9x_2x_3 \pm 0 x_2x_4 \pm 0 x_2x_5 \\
 & + 15.0x_3 \pm 0 x_3^2 \pm 0 x_3x_4 + 9.4x_3x_5 \\
 & \pm 0 x_4 - 23.3x_4^2 - 8.1x_4x_5 \\
 & + 32.8x_5 + 11.7 x_5^5
 \end{aligned} \tag{1}$$

Для анализа влияния количества пластификатора, наполнителя и фибры на морозостойкость бетонов по модели (1) построена диаграмма в виде куба, показанная на рис.2. При построении диаграммы количество цемента фиксировалось на среднем уровне (500 кг/м³), а количество ускорителя твердения – на максимальном (0.8%).

Как видно из диаграммы, морозостойкость бетонов дорожных и аэродромных покрытий наиболее эффективно повышается при введении 1-1.2 кг/м³ полимерной фибры – почти на 100 циклов независимо от уровней других варьируемых факторов. Введение 6-8% наполнителя также позитивно сказывается на величине морозостойкости бетона. Увеличение количества пластификатора Carboxument, так же как и введение ускорителя твердения RebaFS (BE), повышает морозостойкость.

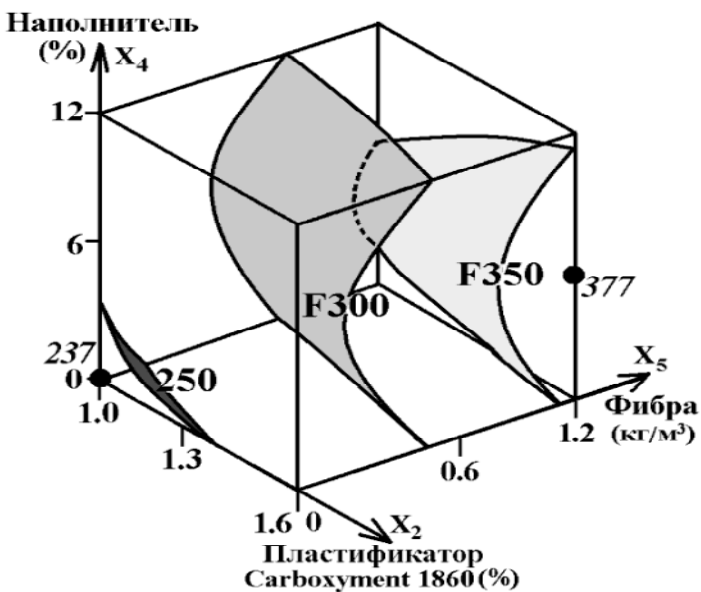


Рис.2. Влияние количества пластификатора, наполнителя и фибры на морозостойкость бетона дорожных и аэродромных покрытий.

Важно отметить, что составы с количеством цемента 500 кг/м^3 и максимальной дозировкой ускорителя твердения и фибры от 0.6 до 1.2 кг/м^3 имеют достаточно высокую морозостойкость – F300 и более. Но за счет введения тонкодисперсного наполнителя и увеличения количества пластификатора уровень морозостойкости бетона может быть еще повышен, достигнув значения F350. В целом морозостойкость фибробетонов, твердевших в жарких условиях, в состав которых введено повышенное количество пластификатора, ускорителя и среднее количество наполнителя можно признать достаточной для верхних слоев дорожных и аэродромных покрытий.

Обобщив результаты проведенных исследований свойств бетонов и фибробетонов для жестких дорожных и аэродромных покрытий [7,8], предназначенных для выполнения работ жарких сухих условиях, можно рекомендовать следующие технологические приемы, обеспечивающие повышение качественных показателей материала:

-использование повышенного до 1.6% от массы цемента количества суперпластификатора. Эффективный пластификатор Carboxyment 1860 обеспечивает необходимую технологичность смеси при сохранении высоких механических свойств бетона.

-использование ускорителя твердения RebaFS (BE) в максимальном количестве (0.8%), что позволяет обеспечить лучшую гидратацию цемента и препятствовать деструкции материала при значительной ранней влажностной усадке.

- применение дисперсного армирования фиброй Vauson в количестве 1-1.2 кг/м³. Волокна повышают прочность бетона на растяжение и значительно повышают его ударостойкость и морозостойкость, а также снижают истираемость.

- введение 6-8% мелкодисперсного кварцевого наполнителя, что положительно влияет на микроструктуру бетона, улучшает его прочность на растяжение, ударостойкость, истираемость и морозостойкость.

Таким образом, получены модифицированные пластифицирующей и ускоряющей добавками, а также наполнителем мелкозернистые фибробетоны для дорожных и аэродромных покрытий, изготавливаемых в жарких и сухих условиях, с обеспеченными высокими показателями прочности (в том числе ранней), истираемости, ударостойкости и морозостойкости.

Разработана технология приготовления модифицированных фибробетонов, разработан и утвержден «Регламент по технологии приготовления и применения модифицированных бетонов и фибробетонов для покрытий дорог и аэродромов в жарких условиях».

1. Аэродромные покрытия. Современный взгляд / [В.Л. Кульчицкий, В.Л. Макагонов, Н.Б. Васильев и др.] – М.: Физико-математическая литература, 2002. – 528 с.
2. 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.
3. Атия Аль Амрей Ровад. Повышение качества бетонов аэродромных покрытий для условий сухого и жаркого климата / Атия Аль Амрей Ровад, А.В. Мишутин // Ресурсоєкономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Збірник наукових праць. Випуск 22. – Рівне, 2011. – с. 15-21.
4. Атия Аль Амрей Ровад. Модифицированные бетоны и фибробетоны для покрытий дорог и аэродромов / Атия Аль Амрей Ровад, А.В. Мишутин // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури, Випуск 48, Частина 1 – Одеса: Зовнішпрекламсервіс, 2012 – с. 24-30.
5. Выровой В.Н. Бетон в условиях ударных воздействий / В.Н. Выровой, В.С. Дорофеев, С.Б. Фиц. – Одесса: Внешпрекламсервіс, 2004. – 270 с.
6. Баженов Ю.М. Технология бетонов. 3-е издание / Ю.М. Баженов. – М.: Высшая школа, 2003. – 499 с.
7. Технические рекомендации по устройству дорожных конструкций из литых бетонных смесей. – М.: 2004.
8. ВБНВ.2.3-218-532:2007 «Влаштування тонкошарових покриттів на автомобільних дорогах державного значення»