



УДК 691.327:666.97

Красникова Н.М. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: knm0104@mail.ru

Морозов Н.М. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: nikola_535@mail.ru

Хохряков О.В. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: olvik@list.ru

Хозин В.Г. – доктор технических наук, профессор

E-mail: khozin@kgasu.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Оптимизация состава цементного бетона для аэродромных покрытий

Аннотация

При проектировании состава бетона для аэродромных покрытий основной характеристикой, помимо морозостойкости, служит прочность на растяжение при изгибе. На основе этой характеристики рассчитывается необходимый расход цемента. В работе показана возможность сокращения расхода цемента путем применения минеральных наполнителей, эффективных суперпластификаторов и базальтовой фибры. При использовании в качестве наполнителей каменной и известняковой муки возможно сокращение расхода цемента на 15 % без снижения прочности на растяжение при изгибе и сохранении требуемого воздухоовлечения.

Ключевые слова: наполнители, цементный бетон, прочность на растяжение при изгибе, базальтовая фибра, суперпластификаторы.

Оптимизация состава бетона является главной задачей бетоноведения, так как каждый год возрастают требования к бетонным и железобетонным конструкциям. Одной из задач оптимизации является сокращение расхода цемента в бетоне при неизменной проектной (заданной) прочности. Эффективным способом снижения расхода цемента является применение минеральных наполнителей. Известно, что наполнение вяжущих дисперсными порошками является одним из перспективных направлений их рационального использования. Так, применение в дорожных одеждах высокоэффективных цементобетонов (НРС) [1], в составах которых входят тонкодисперсные добавки позволяет повысить уровень прочности на растяжение при изгибе в 1,5-2 раза по сравнению с рядовым дорожным бетоном (составляет 6-10 МПа и более) [2-4].

В ряде работ [4-7] отмечается, что добавка наполнителя в составе вяжущего позволяет релаксировать напряжения при структурообразовании цемента, повышая однородность по прочности и деформативности, а также поглощать энергию роста трещин, останавливать их рост за счет ветвления, и как следствие, улучшать его физико-механические показатели. Однако, основными проблемами при использовании минеральных добавок к вяжущим веществам для бетона, являются дисперсность и количество, которое допускается вводить в цементы без снижения их прочности, а также способ введения минеральных добавок в бетон (в составе многокомпонентных цементов или отдельно с цементом). По мнению авторов [8] оптимальное содержание наполнителя в цементных бетонах не должно превышать 10-20 %. По оптимальной дисперсности наполнителя существуют две точки зрения. Так, по мнению авторов [9-11] оптимальная дисперсность минеральной добавки должна превышать на 120-200 м²/кг дисперсность цемента. При таком использовании минеральных добавок реализуется более плотная упаковка исходной матрицы многокомпонентного цемента за счет распределения тонкодисперсных частиц в межзерновых пустотах более грубодисперсных зерен цемента, а при его твердении происходит более активное взаимодействие частиц добавок с гидроксидом кальция, образующимся при гидратации минералов клинкера с образованием высокопрочных низкоосновных и мелкозернистых гидросиликатов кальция. Противоположного мнения придерживаются авторы [12], считающие что

оптимальная дисперсность минеральной добавки должна быть ниже дисперсности цемента на 100-200 м²/кг, т.к. при этом частицы крупного наполнителя заполняют пространство между мелкими частицами песка и являются микрозаполнителями в цементном камне, тем самым уплотняя структуру бетона.

Кафедра ТСМИК КГАСУ ведет разработки в области дорожных бетонов с 1980 года. Накопленный опыт позволяет оказывать техническую поддержку организациям, занимающимся дорожным строительством, так например, мы оптимизировали существующий производственный состав ЗАО «ТРЕСТ КАМДОРСТРОЙ» для аэродромного комплекса с целью сокращения расхода портландцемента в нем на 10 % с сохранением всех технологических и физико-механических свойств бетона (бетон для покрытия ИВПП В40Вт4,8 П1 F200 ГОСТ 26633-91).

Мы рассмотрели несколько вариантов оптимизации состава бетона. В качестве наполнителей были выбраны следующие:

- известняковая мука ЗАО «ТРЕСТ КАМДОРСТРОЙ» (№ 1), удельная поверхность $S_{уд}=250$ м²/кг;
- известняковая мука Балтасинского месторождения (№ 2) $S_{уд}=400$ м²/кг;
- микрокремнезем конденсированный МК-65 ТУ 5743-048-02495332-96. Согласно исследованиям [13] введение в состав бетонной смеси тонкодисперсного кремнезема препятствует образованию кристаллов гидроксида кальция в зоне контакта цементного камня с зернами заполнителя и способствует образованию в этой зоне более прочных структур гидросиликата кальция;
- аэросил (ГОСТ 14922 «Аэросил»), является ультравысокодисперсным кремнеземсодержащим продуктом наноразмерного состава.

В качестве наполнителей использовали гранитный щебень М1400 Сангалыкского диоритового карьера фракции 5-20 мм и строительной песок с модулем крупности 1,7. В качестве вяжущего использовали цементы Ульяновский ПЦ500Д0 и Вольский ПЦ500Д0.

Для исследования влияния наполнителей на прочность цементного бетона были получены составы бетонных смесей с подвижностью П1 (ОК=1-4 см). Бетонная смесь приготавливалась в лабораторном смесителе ЛС-ЦБ-10.

Определение технологических показателей качества смесей и бетонов производили по методикам следующих стандартов:

- свойства бетонных смесей – ГОСТ 10181, ГОСТ 7473;
- прочность бетонов – ГОСТ 10180.

Бетонные образцы в течение 28 сут. хранились в естественных условиях при температуре воздуха +25,5 °С и влажности – 60 %.

Составы бетона с наполнителями и прочностные характеристики представлены в табл. 1 и табл. 2.

Таблица 1

Составы бетонных смесей с наполнителями

№ состава	Портландцемент		Наполнитель		Щебень, кг/м ³	Песок, кг/м ³	Добавка	
	вид	кол-во, кг/м ³	наименование	кол-во, %			наименование	кол-во, кг
1	Ульяновский ПЦ500Д0	455	-	-	1230	480	СП-1 СНВ	3,41 0,013
2		387	Известняковая мука № 1	20		460	СП-1 СНВ	3,41 0,013
3		387	Известняковая мука № 2	20		460	СП-1 СНВ	3,41 0,013
4	Вольский ПЦ500Д0	387	Известняковая мука № 2	20		460	СП-1 СНВ	3,41 0,013
5	Ульяновский ПЦ500Д0	410	Микрокремнезем	5		500	СП-1 СНВ	3,41 0,013
6		410	Аэросил	0,1		525	СП-1 СНВ	3,41 0,013

Таблица 2

Свойства бетонной смеси и бетона с наполнителями

№ состава	В/Ц	ОК	Воздухововлечение, %	Прочность на сжатие, МПа в возрасте			Прочность на растяжение при изгибе через 28 сут, МПа
				1 суток	14 суток	28 суток	
1	0,32	1	6,5	29,2	46,1	51,2	4,69
2	0,328	3	5,0	30,2	49,0	57,6	4,83
3	0,33	2	7,8	28,6	45,8	58,8	4,86
4	0,309	2	5,4	33,3	49,7	66,4	5,00
5	0,308	2	5,8	27,8	57,9	65,4	4,87
6	0,32	2	6,6	25,3	43,0	49,4	4,16

Из табл. 2 видно, что применение в составе дорожного бетона наполнителей (известняковой муки № 1 и известняковой муки № 2) в количестве 20 % позволяет снизить расход клинкерной составляющей вяжущего на 15 % без потери физико-механических свойств. При этом замена Ульяновского ПЦ на портландцемент Вольского цементного завода позволяет увеличить прочность бетона при изгибе на растяжение на 5 % от нормативного значения. Микрокремнезем в количестве 5 % позволяет снизить расход вяжущего на 10 % при этом прочность при сжатии в 28 сут возрасте увеличивается на 25 %. Аэросил не оказал положительного влияния на прочностные свойства бетона. Это можно объяснить трудностью равномерного распределения ультравысокодисперсного аэросила по объему бетонной смеси.

Одним из способов повышения прочности на растяжение при изгибе является применение фибры [14]. Нами было предложено армирование базальтовой фиброй длиной 6 мм. Кроме того эффективным способом снижения расхода цемента является использование цементов низкой водопотребности (ЦНВ) [15, 16] В нашей работе были приготовлены ЦНВ-100 на Ульяновском цементе (100 % цемента в составе) и ЦНВ-50, в котором вместо 50 % цемента использовали известняковую муку. Составы бетонов с базальтовой фиброй и ЦНВ в качестве основного и смешанного вяжущих для цементного бетона представлены в табл. 3. Свойства бетонной смеси и полученного бетона представлены в табл. 4.

Таблица 3

Составы бетонных смесей с фиброй и ЦНВ

№ состава	Портландцемент		Наполнитель		Щебень, кг/м ³	Песок, кг/м ³	Добавка	
	вид	кол-во, кг/м ³	наименование	кол-во, %			наименование	кол-во, кг
1	Ульяновский ПЦ500Д0	455	-	-	1230	480	СП-1 СНВ	3,41 0,013
2		410	Базальтовое волокно	2		525	СП-1 СНВ	3,41 0,013
3		350	ЦНВ 100	17		525	СП-1 СНВ	3,41 0,013
4	ЦНВ-50	410	-	-		500	СНВ	0,013

Таблица 4

Свойства бетонной смеси и бетона с фиброй и ЦНВ

№ состава	В/Ц	ОК	Воздухововлечение, %	Прочность на сжатие, МПа в возрасте			Прочность на растяжение при изгибе через 28 сут, МПа
				1 суток	14 суток	28 суток	
1	0,32	1	6,5	29,2	46,1	51,2	4,69
2	0,32	2	6,9	28,4	45,4	52,6	5,20
3	0,275	3	5,5	32,3	49,0	53,5	4,70
4	0,27	4	4,5	29,9	47,5	52,0	4,67

Из табл. 4 видно, что базальтовое волокно в количестве 2 % от массы вяжущего позволяет снизить расход вяжущего на 10 % и увеличить прочность бетона при изгибе на растяжение на 8 % от нормативного значения. Но, использование в качестве наполнителя базальтового волокна, несмотря на удовлетворительные физико-механические показатели, вызовет затруднения из-за трудности его равномерного распределения. Использование ЦНВ в качестве основного вяжущего и в качестве смешанного вяжущего для цементного бетона позволяет снизить расход вяжущего на 10 % без потери физико-механических свойств. Однако следует отметить, что бетонная смесь с полной заменой портландцемента на ЦНВ-50, не удовлетворяет требованиям для дорожных бетонов по сохранению плиты при ее формировании методом скользящей опалубки (по формированию кромок дорожного полотна).

Одним из эффективных способов регулирования реологических и физико-механических свойств бетона является использование химических добавок. Поэтому была рассмотрена возможность замены двух химических добавок применяемых в производственном составе на одну новую добавку [17] пластифицирующего-воздухововлекающего действия (АРОС-ФВ), разработанную на нашей кафедре. Следует отметить, что согласно ВСН-139 п. 3.1 (Инструкция по строительству цементобетонных покрытий автомобильных дорог) при подборе состава бетона с добавками ПАВ допускается снижать предел прочности бетона при сжатии на 10 %, сохраняя проектную марку по прочности на растяжении при изгибе. Составы бетонов представлены в табл. 5. Результаты представлены в табл. 6.

Таблица 5

Составы бетонных смесей предложенными добавками

№ состава	Портландцемент		Щебень, кг/м ³	Песок, кг/м ³	Добавка	
	вид	кол-во, кг/м ³			наименование	кол-во, кг
1	Ульяновский ПЦ500ДО	455	1230	480	СП-1	3,41
2		410			525	СНВ
					Арос ФВ	0,75% от Ц

Таблица 6

Результаты испытаний бетона с добавками

№ состава	В/Ц	ОК	Воздухововлечение, %	Прочность на сжатие, МПа в возрасте			Прочность на растяжение при изгибе через 28 сут, МПа
				1 суток	14 суток	28 суток	
1	0,32	1	6,5	29,2	46,1	51,2	4,69
2	0,31	3	6,8	26,4	46,5	53,0	4,76

Из табл. 6. видно, что замена двух химических добавок пластифицирующего (СП-1) и воздухововлекающего (СНВ) действия на одну добавку – АРОС-ФВ позволяет снизить расход вяжущего на 10 % без потери физико-механических свойств.

Применение различных модифицирующих добавок в равной степени позволяет снизить расход цемента в бетонах дорожного назначения. Самым эффективным путем является использование наполнителей и фибры. Введение наполнителей позволяет сократить расход цемента на 15 % без потери прочности, а введение фибры не только сократить расход цемента на 10 % но при этом увеличить и прочность на растяжение при изгибе. Таким образом, современные методы модификации цементных бетонов позволяют значительно сократить расход цемента в бетонных конструкциях, работающих на изгиб.

Список библиографических ссылок

1. Морозов Н.М., Хозин В.Г., Боровских И.В., Степанов С.В. Высокопрочные цементные бетоны для дорожного строительства // Строительные материалы, 2009, № 11. – С. 15-17.
2. Коганзон М.С. Эффективность применения цементобетона при строительстве и ремонте дорожных одежд // Тезисы докладов Международного семинара «Перспективы и эффективность применения цементобетона в дорожном строительстве». – М.: Московский автомобильно-дорожный институт (государственный технический университет), 2002. – С. 65-69.
3. Феднер Л.А., Ефимов С.Н. Бетон в дорожно-транспортном строительстве. // Тезисы докладов Международного семинара «Перспективы и эффективность применения цементобетона в дорожном строительстве». – М.: Московский автомобильно-дорожный институт (государственный технический университет), 2002. – С. 69-78.
4. Ушаков В.В. О расширении строительства автомобильных дорог с цементобетонными покрытиями // Наука и техника в дорожной отрасли, 2003, № 3. – С. 7-8.
5. Бабков В.В., Полак А.Ф., Комохов П.Г. Аспекты долговечности цементного камня // Цемент, 1988, № 3. – С. 14-16.
6. Соломатов В.И., Бобрышев А.Н., Прошин А.П. Кластеры в структуре и технологии композиционных строительных материалов // Известия вузов. Строительство и архитектура, 1983, № 4. – С. 56-61.
7. Комохов П.Г. Механико-энергетические аспекты процессов гидратации, твердения и долговечности цементного камня // Цемент, 1987, № 2. – С. 20-22.
8. Шейнин А.М., Эккель С.В., Коганзон М.С., Феднер Л.А. Эффективность применения цементобетона при строительстве автомобильных дорог // Тезисы докладов Международного семинара «Перспективы и эффективность применения цементобетона в дорожном строительстве». – М.: Московский автомобильно-дорожный институт (государственный технический университет), 2002. – С. 84-86.
9. Pistilli M.F. The Variability of Condensed Silica Fume from a Canadian Source and its Influence on the Properties of Portland Cement Concrete // Cement, Concrete and Aggregate, 1984, v. 6, № 1. – P. 33-37.
10. Бутт Ю.М., Сычев М.М., Тимашев В.В. Химическая технология вяжущих материалов. – М.: Высш. школа, 1980. – 472 с.
11. Морозов Н.М., Хохряков О.В., Хозин В.Г. Сравнительная оценка мельниц по размолоспособности кварцевого песка и его эффективности в цементных бетонах // Известия КГАСУ, 2011, № 1. – С. 177-181.
12. Соломатов В.И., Глаголева Л.М., Кабанов В.Н., Осипова В.И., Черный М.Г., Маршалов О.Г., Ковальчук А.В. Высокопрочный бетон с активированным минеральным наполнителем // Бетон и железобетон, 1986, № 12. – С. 10-11.
13. Sarkar L. Strength enhancement factors in very high strength concrete // NCB Quest. – 1990, Vol. 3, № 1. – P. 1-15.
14. Боровских И.В., Морозов Н.М. Повышение долговечности базальтовой фибры в цементных бетонах // Известия КГАСУ, 2012, № 2. – С. 160-165.
15. Хозин В.Г., Хохряков О.В. Цементы низкой водопотребности (ЦНВ) – эффективный «аккумулятор» минеральных отходов промышленности, теплоэнергетики и строительного производства // Производство строительных материалов и изделий с использованием отходов промышленности. Сборник трудов I^{го} научно-практического семинара с участием иностранных специалистов. – Ташкент, ТАСИ, 2011. – С. 263.
16. Красникова Н.М., Хохряков О.В., Хозин В.Г. Влияние цементов низкой водопотребности на степень пучинистости пылеватых грунтов // Известия КГАСУ, 2012, № 3. – С. 139-143.
17. Красникова Н.М., Фахрутдинова В.Х., Кашапов Р.Р., Хозин В.Г. Химическая добавка на основе фенола для цементных бетонов // Теория и практика повышения эффективности строительных материалов: Материалы VII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Пенза: ПГУАС, 2012. – С. 91-95.

Morozov N.M. – candidate of technical science, senior lecturer

E-mail: nikola_535@mail.ru

Krasnikova N.M. – candidate of technical sciences, senior lecturer

E-mail: knm0104@mail.ru

Khohryakov O.V. – candidate of technical science, senior lecturer

E-mail: olvik@list.ru

Khozin V.G. – doctor of technical science, professor

E-mail: khozin@kgasu.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st. 1

Optimization of composition of cement concrete for airfield coverings

Resume

Modern production of construction materials even more often is guided by use of cheap mineral fillers. They are used both by production cement knitting, and as additives in commodity concrete. Thus fillers not only allow to reduce the cost of these materials, but also to improve their physicomechanical indicators. For example, possibility of decrease in growth of tension is provided at cement structurization, uniformity on durability and a deformativnost increases, energy of growth of cracks, etc. is absorbed.

We studied possibility of application as a cheap filler of a calcareous flour for concrete of airfield coverings. Proceeding from requirements imposed to this concrete on durabilities on stretching at a bend (Bt4,8), frost resistance (F200), a class for durability on compression (B40) and to airinvolvement (GOST 26633-91), the supersoftener, an airinvolving additive and a basalt fiber were also used. It is as a result received that without prejudice to these indicators, introduction of a calcareous flour instead of cement for 15 % is possible. At addition of 10 % of a flour some growth of durability on stretching is provided even at a bend probably owing to consolidation of structure of concrete.

As a whole, use of a calcareous flour is positively reflected in properties of cement concrete and therefore it can be recommended for partial replacement of cement and decrease in prime cost of a roadbed.

Keywords: fillers, cement concrete, durability on stretching at a bend, a basalt fiber, supersofteners.

Reference list

1. Morozov N.M., Khozin V.G., Borovskih I.V., Stepanov S.V. High-strength cement concrete for road construction // Construction materials, 2009, № 11. – P. 15-17.
2. Koganzon M.S. Efficiency of use of cement concrete at construction and repair of road clothes // Theses of reports of the International seminar «Prospects and efficiency of use of cement concrete in road construction». – M.: Moscow automobile and road institute (the state technical university), 2002. – P. 65-69.
3. Fedner L.A., Yefimov S.N. Beton in road and transport construction // Theses of reports of the International seminar «Prospects and efficiency of use of cement concrete in road construction». – M.: Moscow automobile and road institute (the state technical university), 2002. – P. 69-78.
4. Ushakov V.V. About expansion of construction of highways with cement-concrete coverings // Science and equipment in road branch, 2003, № 3. – P. 7-8.
5. Babkov V.V., Polak A.F., Komokhov P.G. Aspects of durability of a cement stone // Cement, 1988, № 3. – P. 14-16.
6. Solomatov V.I., Bobryshev A.N., Proshin A.P. Clusters in structure and technology of composite construction materials // News of higher education institutions. Construction and architecture, 1983, № 4. – P. 56-61.

7. Komokhov P.G. Mechanical and power aspects of processes of hydration, curing and durability of a cement stone // *Cement*, 1987, № 2. – P. 20-22.
8. Sheynin A.M., Ekkel S.V., Koganzon M.S., Fedner L.A. Efficiency of application cement concrete at construction of highways // *Theses of reports of the International seminar «Prospects and efficiency of use of cement concrete in road construction»*. – M.: Moscow automobile and road institute (the state technical university), 2002. – P. 84-86.
9. Pistilli M.F. The Variability of Condensed Silica Fume from a Canadian Source and its Influence on the Properties of Portland Cement Concrete // *Cement, Concrete and Aggregate*, 1984, v. 6, № 1. – P. 33-37.
10. Butt Yu.M., Sychev M.M., Timashev V.V. Chemical technology of knitting materials. – M.: The higher school, 1980. – 472 p.
11. Morozov N.M., Khohryakov O.V., Khozin V.G. Comparative assessment of mills on a grinding of quartz sand and its efficiency in cement concrete // *News of the KSUAE*, 2011, № 1. – P. 177-181.
12. Solomatov V.I., Glagoleva L.M., Kabanov V.N., Osipov V.I., Cherny M.G., Marshals O.G., Kovalchuk A.V. High-strength concrete with the activated mineral filler // *Concrete and reinforced concrete*, 1986, № 12. – P. 10-11.
13. Sarkar L. Strength enhancement factors in very high strength concrete // *NCB Quest*, 1990, Vol. 3, № 1. – P. 1-15.
14. Borovskih I.V., Morozov N.M. Increase of durability of a basalt fiber in cement concrete // *News of the KSUAE*, 2012, № 2. – P. 160-165.
15. Khozin V.G., Khohryakov O.V. The Cements of Low Water Requirement (CLWR) – effective «accumulator» of mineral waste of the industry, power system and construction production // *Production of construction materials and products with use of waste of the industry. The collection of works of the I-st scientific and practical seminar with participation of foreign experts*. – Tashkent, TASI, 2011. – P. 263.
16. Krasnikova N.M., Khohryakov O.V., Khozin V.G. Influence of cements of low water requirement on degree of buckling of dusty soil // *News of the KSUAE*, 2012, № 3. – P. 139-143.
17. Krasnikova N.M., Fakhrutdinova V.H., Kashapov R.R., Hozin V.G. The chemical additive on the basis of phenol for cement concrete // *the Theory and practice of increase of efficiency of construction materials: Materials VII of the International conference of students, graduate students and young scientists*. – Penza: PGUAS, 2012. – P. 91-95.