

УДК 691.327:666.97

**Якупов М.И.** – аспирант

E-mail: mansuryakupov@gmail.com

**Морозов Н.М.** – кандидат технических наук, доцент

E-mail: nikola\_535@mail.ru

**Боровских И.В.** – кандидат технических наук, старший преподаватель

E-mail: borigor83@gmail.com

**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

### **Модифицированный мелкозернистый бетон для возведения монолитных покрытий взлетно-посадочных полос аэродромов**

#### **Аннотация**

Целью работы являлось исследование технологических, прочностных и эксплуатационных свойств высокопрочных мелкозернистых бетонов и установление возможности применения их при возведении монолитных аэродромных покрытий.

Было изучено влияние наполнителей на плотность, подвижность и воздухововлечение пластифицированных мелкозернистых бетонных смесей, установлено влияние модуля крупности песчаного заполнителя на водопоглощение мелкозернистого бетона, проведена оценка прочностных свойств мелкозернистых бетонов с различным расходом цемента и заданными технологическими свойствами, необходимыми для применения полученного материала при возведении монолитных покрытий аэродромов.

Установлен минимальный модуль крупности ( $M_k$  более 2,2) при котором выполняются эксплуатационные требования, предъявляемые к материалу покрытий аэродромов.

**Ключевые слова:** мелкозернистый бетон, бинарный наполнитель, воздухововлечение, водопоглощение, модуль крупности, прочность, растяжение при изгибе.

В настоящее время одним из приоритетных направлений развития промышленности строительных материалов является производство мелкозернистых бетонов и изделий из них. Это связано с дефицитом заполнителей из высокопрочных изверженных пород в Европейской части России, где преобладают осадочные карбонатные породы и с возрастающими транспортными расходами при перевозке качественного щебня из других регионов.

В последние годы песчаные бетоны активно внедряются в городское дорожное строительство и, особенно, при благоустройстве улиц и площадей. Целый ряд достоинств делает этот материал более рациональным для применения, чем равнопрочный крупнозернистый бетон: повышенная способность воспринимать растягивающие напряжения, более высокая призмная прочность, повышенная морозостойкость.

В реестр гражданской авиации включено 315 аэродромов, и это количество ежегодно убывает. 117 из них составляют национальную аэродромную сеть, состояние которой вызывает серьёзную озабоченность. Износ инфраструктуры аэродромов в среднем по стране достиг 75 %. В связи с этим разработана и реализуется Федеральная целевая программа «Развитие транспортной системы России (2010-2015 годы)», которая ставит задачу создания новой аэропортовой сети, отвечающей современным требованиям к безопасности полетов.

Успех в решении этой задачи обеспечивается на стадии проектирования путем выбора конструктивных решений и применяемых материалов, отвечающих условиям эксплуатации конкретного сооружения.

Дорожно-строительные материалы являются той материальной основой, из которой состоят все транспортные сооружения: аэродромы, автомобильные дороги, мосты, путепроводы и т.д. Именно материалы воспринимают транспортные и климатические воздействия и должны обеспечить необходимый срок службы и минимальные затраты на

ремонт сооружений в период эксплуатации. В связи с этим актуальным является применение высокопрочного мелкозернистого бетона для аэродромных покрытий.

Для проведения исследований были использованы следующие материалы: портландцемент ПЦ500Д0 Вольского цементного завода, отличающийся низким содержанием  $C_3A$ , минеральные наполнители – микрокремнезем Челябинского электрометаллургического комбината марки МК-85 с удельной поверхностью  $20000 \text{ см}^2/\text{г}$  и отход от дробления известнякового щебня Куркачинского месторождения с удельной поверхностью  $8000 \text{ см}^2/\text{г}$ . Содержание  $CaCO_3$  в породе известняка составляет 73,4 %. В качестве заполнителя использовали кварцевый песок Камского месторождения ПО «Нерудматериалы» г. Казань. В качестве пластифицирующей добавки использовали - суперпластификатор С-3. Наполнители перемешивали совместно с С-3 в соотношении 6:9:1 (микрокремнезем:известняковая мука: С-3).

Согласно ГОСТ 26633-91 для дорожных и аэродромных покрытий из тяжелого и мелкозернистого бетона водоцементное отношение должно быть не более 0,45, а вовлеченного воздуха в бетонной смеси должен быть не менее 5 %.

Результаты оценки технологических свойств подобранной мелкозернистой смеси представлены в табл. 1. Гранулометрический состав песка был подобран с позиции обеспечения минимальной пустотности [1].

Таблица 1

Состав и свойства бетонной смеси

№	Цемент: Песок	БН+ С-3, %	Вид песка	В/Ц	Подвижность бетонной смеси ОК, см	Плотность бетонной смеси, кг/м <sup>3</sup>	Воздухо- вовлечение, %
1	1:2,5	13,3	оптимальная гранулометрия	0,28	2	2360	4,5
2	1:3	13,3		0,29	2	2350	5,2
3	1:4	13,3		0,31	2	2325	5,5
4	1:5	13,3		0,34	2	2310	5,8

БН – бинарный наполнитель (микрокремнезем + известняковая мука)

Как видно из табл. 1, были подобраны смеси с осадкой конуса 2 см, при этом не на одном составе водоцементное отношение не превысило 0,45, а воздухововлечение смесей составило 4,5-5,8 %. При снижении расхода цемента воздухововлечение смесей повышается и снижается плотность смеси.

Для обеспечения требуемой морозостойкости необходимо чтобы количество воздуха в бетонной смеси не превышало 7 % [2, 3, 8]. При использовании мелкозернистого бетона за воздухововлечением необходимо тщательно следить, так как при изменении модуля крупности этот показатель значительно изменяется [4, 6, 7]. Крупность, качество поверхности, прочность зерен, гранулометрический состав и водопоглощение в известной степени определяет плотность и прочность упаковки зерен песка, сцепление между ними и цементным камнем, следовательно, свойства мелкозернистого бетона.

Таблица 2

Воздухововлечение бетонной смеси с песком различного модуля крупности

№	Цемент, кг	Песок, кг	Модуль крупности, Мк	ОК, см	Плотность смеси, кг/м <sup>3</sup>	Воздухо- вовлечение, %	Водо- поглощение, %
1	500	1550	2,26	3	2160	5,8	3,19
2			2,08	2	2170	6,3	4,68
3			1,78	3	2110	7,5	5,87
4			0,99	2	2080	7,8	6,46

Как видно из табл. 2, при уменьшении модуля крупности с 2,26 до 0,99 возрастает воздухововлечение (с 5,8 % до 7,8 %), водопоглощение (с 3,19 % до 5,87 %). Наименьшее воздухововлечение, водопоглощение и наибольшую прочность показал состав с модулем

крупности 2,26. Это объясняется меньшей удельной поверхностью крупного песка, приводящей к снижению водопотребности мелкозернистой бетонной смеси, что, в результате, позволяет сократить пористость затвердевшего бетона и тем самым способствовать увеличению прочности. Поэтому для получения мелкозернистого бетона с допустимым воздухововлечением необходимо использовать пески с модулем крупности более 2,2, что нами и было осуществлено при использовании песка оптимальной granulometрии с  $M_k=3,01$ .

Введение наполнителей практически не влияет на воздухововлечение. Их применение является одним из путей увеличения плотности структуры бетонной смеси при этом в значительной степени снижается капиллярная пористость бетона, и следовательно уменьшается водопоглощение [5]. Кроме того, кремнеземистые наполнители участвуют в реакции с гидратной известью, что дополнительно повышает прочность бетона. В качестве наполнителя мы использовали известняковую муку 600 м<sup>2</sup>/кг и микрокремнезем. В качестве заполнителя использовался песок с модулем крупности 2,75. Использовали также суперпластификатор С-3. В табл. 3 представлены результаты влияния вида наполнителей на свойства бетонной смеси.

Таблица 3

Составы бетона и бетонной смеси с наполнителями

№	Расход компонентов бетона, кг/м <sup>3</sup>				В/Ц	Воздухововлечение, %
	Цемент	Песок	Наполнитель	С-3		
1	500	1550	-	2,5	0,41	5,8
2	500	1550	50 (известняк)	2,5	0,42	6,0
3	500	1550	50 (микро-кремнезем)	2,5	0,43	5,7

Введение наполнителей, как мы видим из табл. 3, не влияет на воздухововлечение бетонных смесей. Поэтому подобранные в табл. (в начале) составы бетонных смесей отличаются не высоким воздухововлечением. Стоит отметить, что воздухововлечение бетонной смеси, необходимое для обеспечения морозостойкости бетона при применении в качестве заполнителя только песка, достигается без использования воздухововлекающих добавок.

Далее была проведена оценка прочностных свойств мелкозернистой смеси с требуемой подвижностью ( $OK=2$  см) используемой при укладке современными комплексами по изготовлению монолитного аэродромного покрытия.

Таблица 4

Прочность мелкозернистого бетона

№	Ц:П	БН + С-3, %	В/Ц	Плотность бетона, кг/м <sup>3</sup>	Прочность при изгибе, в возрасте 28 сут МПа	Прочность на сжатие, МПа в возрасте:	
						3 сут	28 сут
1	1:2,5	13,3	0,28	2350	9,03	58,4	87,6
2	1:3	13,3	0,29	2345	8,56	56,2	82,3
3	1:4	13,3	0,31	2320	7,82	51,5	76,4
4	1:5	13,3	0,34	2305	6,54	41,4	66,1

Как видно из табл. 4 уже через 3 суток нормально-влажностного твердения прочность бетона достигает 62-68 %. Такой быстрый набор прочности обеспечивается низкими значениями водоцементного отношения. Низкое водоцементное отношение получено благодаря использованию Вольского цемента с низкой нормальной плотностью, песка оптимальной granulometрии (низкая удельная поверхность) и использованию суперпластификатора С-3 совместно с наполнителями разной удельной поверхности.

Прочность на растяжение при изгибе в возрасте 28 суток нормального твердения варьируется в интервале 6,54-9,03 МПа, что в 1,5-2,5 раза больше чем у применяемых в настоящее время бетонов на крупном заполнителе. Максимальная прочность мелкозернистого бетона 87,6 МПа достигнута при расходе цемента 600 кг/м<sup>3</sup>, а при расходе цемента 360 кг/м<sup>3</sup> прочность на сжатие составила 66,1 МПа, что соответствует классу В50.

Таким образом, при необходимой подвижности бетонной смеси (осадка конуса 2 см) получены мелкозернистые бетоны прочностью на растяжение при изгибе 6,54-9,03 МПа и прочностью на сжатие 66,1-87,6 МПа.

### Список библиографических ссылок

1. Морозов Н.М., Хозин В.Г., Боровских И.В., Степанов С.В. Высокопрочные цементные бетоны для дорожного строительства. // Строительные материалы, № 11, 2009. – С. 15-17.
2. Шейнин А.М. Цементобетон для дорожных и аэродромных покрытий. – М.: Транспорт, 1991. – 151 с.
3. Шестоперов С.В. Долговечность бетона транспортных сооружений. – М.: Изд-во Транспорт, 1966. – 500 с.
4. Баженов Ю.М., Магдеев У.Х., Алимов Л.А., Воронин В.В., Гольденберг Л.Б. Мелкозернистые бетоны: Учебное пособие. // Моск. Гос. Строит. Ун-т. – М., 1998. – 148 с.
5. Демьянова В.С. Калашников В.И. Быстротвердеющие высокопрочные бетоны с органоминеральными модификаторами. – Пенза: ПГУАС, 2003. – 195 с.
6. Львович К.И. Выбор песков для песчаного бетона // Бетон и железобетон, 1994, № 2. – С. 12-16.
7. Зозуля П.В. Оптимизация гранулометрического состава и свойств заполнителей и наполнителей для сухих строительных смесей // Сборник тезисов докладов 3-й Международной конференции BaltiMix. – СПб., 2003. – С. 12-13.
8. Шейкин А.Е., Добшиц Л.М. Цементные бетоны высокой морозостойкости – Л.: Стройиздат, 1989. – 128 с.

**Iakupov M.I.** – post-graduate student

E-mail: mansuryakupov@gmail.com

**Morozov N.M.** – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: nikola\_535@mail.ru

**Borovskikh I.V.** – candidate of technical sciences, assistant

E-mail: borigor83@gmail.com

**Khozin V.G.** – doctor of technical sciences, professor

E-mail: khozin@kgasu.ru

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

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

### Modified fine-grained concrete for the construction of monolithic coverings runways

#### Resume

The purpose of work was the study of technological, structural and operational properties of high-strength fine-grained concrete and establishing the possibility of their application in the construction of monolithic airfield pavements.

We studied the influence of the developed binary filler consisting of microsilica and calcareous flour, density, mobility and the volume of entrained air plasticized fine-grained concrete mixtures, it is the effect of module size sandy placeholder on water absorption fine-grained concrete, the estimation of the strength properties of fine-grained concretes with different consumption of cement and given technological properties which are necessary for the application of the received material erection of monolithic airfields.

It is revealed that for obtaining fine-grained concrete with valid for use in coatings aerodromes volume of entrained air, you must use the Sands of the module size more than 2,2. It is established that the addition of fillers does not affect the volume of entrained air-grained concrete mixes, when used as a placeholder sand only, necessary for ensuring the frost resistance of the volume of entrained air is achieved without the use of air entraining admixtures, unlike

the coarse-grained concrete. Due to the low water-cement relations in fine-grained concretes, you can quickly set of durability in the early stages of setting up to 70 % of nominal strength within three days of normal moisture curing. It is established that the tensile strength at bending in the project the age of 1,5-2,5 times higher than those of concrete on a large filler.

**Keywords:** fine-grained concrete, binary filler, the volume of entrained air, water absorption, module size, strength, flexural.

#### Reference list

1. Morozov N.M., Khozin V.G., Borovskikh I.V., Stepanov S.V. High-Strength cement concrete for road construction. // Building materials, № 11, 2009. – P. 15-17.
2. Sheinin A.M. Cement for road and airfield pavements. – M.: Transport, 1991. – 151 p.
3. Shestoporov S.V. Durability of concrete and reinforced concrete structures. – M.: Transport, 1966. – 500 p.
4. Bazhenov J.M., Magdeev U.H., Alimov L.A., Voronin V.V., Goldenberg L.B. Fine-grained concretes: textbook // Mosk. GOS. Builds. University T. – M., 1998. – 148 p.
5. Demyanova V.I., Kalashnikov V.S. Fast curing high performance concretes with organic modifiers. – Penza: PGUAS, 2003. – 195 p.
6. Lvovich K.I. Choice of sand to sandy concrete // concrete and reinforced Concrete, 1994, № 2. – P. 12-16.
7. Zozulya P.V. Optimization of particle size distribution and properties of additives and fillers for dry construction mixes // Abstracts of the 3rd International conference BaltiMix. – SPb., 2003. – P. 12-13.
8. Sheikin A.E., Dobshic L.M. Cement concrete of high frost resistance. – L., Stroizdat, 1989. – 128 p.