

## Тяжелонагруженные полы на основе мелкозернистых фибробетонов

*К.т.н., доцент С.В. Ключев\*;  
к.т.н., старший преподаватель А.В. Ключев;  
к.т.н., старший преподаватель Д.М. Сопин;  
студент А.В. Нетребенко;  
младший научный сотрудник С.А. Казлитин,*

*ФГБОУ ВПО Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова*

**Ключевые слова:** мелкозернистый бетон; техногенный песок; фибробетон

В настоящее время возведение промышленных зданий не менее актуально, чем жилищное строительство, и широко распространено в крупных городах России. При строительстве промышленных объектов особое внимание должно уделяться применению новых эффективных строительных материалов, сборных строительных элементов, легких и экономичных крупноразмерных конструкций и изделий повышенного качества с высокой степенью заводской готовности, обеспечивающих индустриальность, снижение материалоемкости и стоимости строительства.

Большое значение в промышленных зданиях имеют полы, на устройство которых тратится до 20% стоимости возведения одноэтажного здания и до 40–50% общего расхода бетона. Поэтому при выборе конструкции пола, помимо удовлетворения технологическим требованиям, следует учитывать положительный экономический эффект от ускорения производства работ, повышения долговечности и возможности беспрепятственной перестановки технологического оборудования [1].

Конструкции из фибробетона широко применяются во многих областях строительства и успешно используются в таких странах как ЮАР, Германия, Япония, США и многих других [2–9]. Однако в нашей стране этому материалу уделяется мало внимания. До сих пор нет единой теории его прочности и деформативности. Опыт исследования, проектирования и устройства позволяет осуществить системный подход при выборе конструкции, материалов и технологий для устройства полов на объектах производственно-складского назначения. Устройство полов из фибробетона является одним из перспективных направлений в строительном комплексе [10–14].

Для получения мелкозернистых фибробетонов с высокими эксплуатационными характеристиками, снижения клинкерной составляющей и оптимизации процессов структурообразования целесообразно применение высокоактивных композиционных вяжущих, таких как тонкомолотый цемент (ТМЦ) и вяжущее низкой водопотребности (ВНВ).

В данном исследовании композиционное вяжущее получали путем домола портландцемента ЦЕМ I 42,5Н производства ЗАО «Белгородский цемент» (Белгород) с суперпластификатором «Полипласт СП-1» в вибромельнице до достижения удельной поверхности 500–550 м<sup>2</sup>/кг. В качестве кремнеземсодержащей добавки выступал отход дробления гранита [15–24].

Из результатов экспериментов отчетливо видно, что помол цемента с пластифицирующей добавкой «Полипласт СП-1» в количестве 0,6% от массы цемента проходит более интенсивно. Следовательно, помимо пластифицирующего, добавка обладает и интенсифицирующим действием при помоле, что объясняется ее расклинивающими свойствами. Также видно, что кинетика размалываемости ТМЦ и ВНВ на отсева дробления гранита аналогична кинетике образца на ранее изученном техногенном сырье (рис. 1).

По результатам исследования зернового состава вяжущих можно сделать вывод о лучшей размолоспособности ВНВ за счет того, что оно имеет полифракционный состав со смещением в сторону меньших значений. В отличие от портландцемента и ТМЦ, которые имеют один четко выраженный пик, распределение частиц ВНВ полимодальное. Такое распределение частиц будет способствовать уменьшению пористости, снижению кристаллизационного давления при твердении клинкерных минералов, более плотной упаковке частиц. Это, в свою очередь, ведет к снижению микротрещин в цементном камне и мелкозернистом бетоне в целом (рис. 2).

Ключев С.В., Ключев А.В., Сопин Д.М., Нетребенко А.В., Казлитин С.А. Тяжелонагруженные полы на основе мелкозернистых фибробетонов

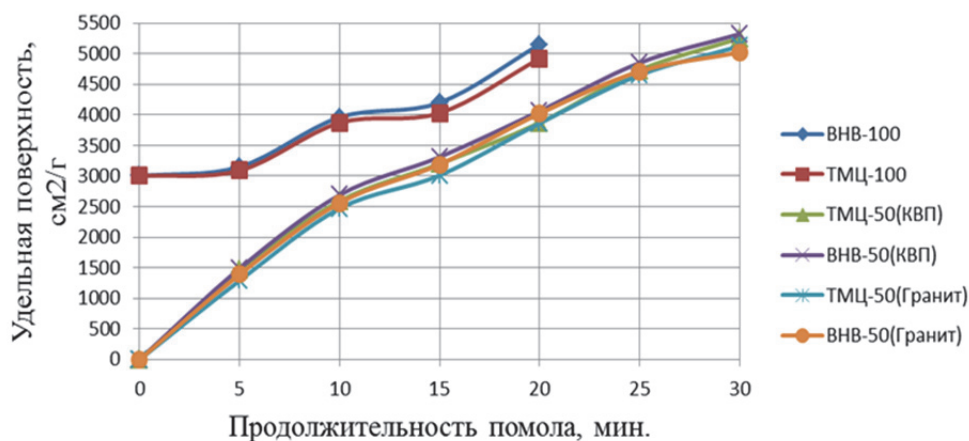


Рисунок 1. Кинетика размалываемости в зависимости от состава вяжущего

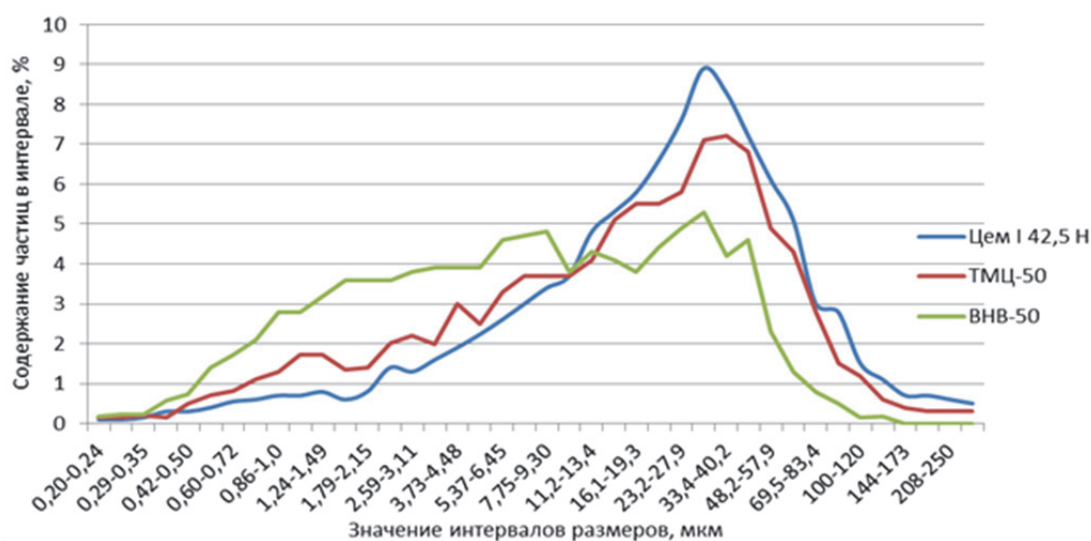


Рисунок 2. Графики распределения частиц вяжущих по размерам

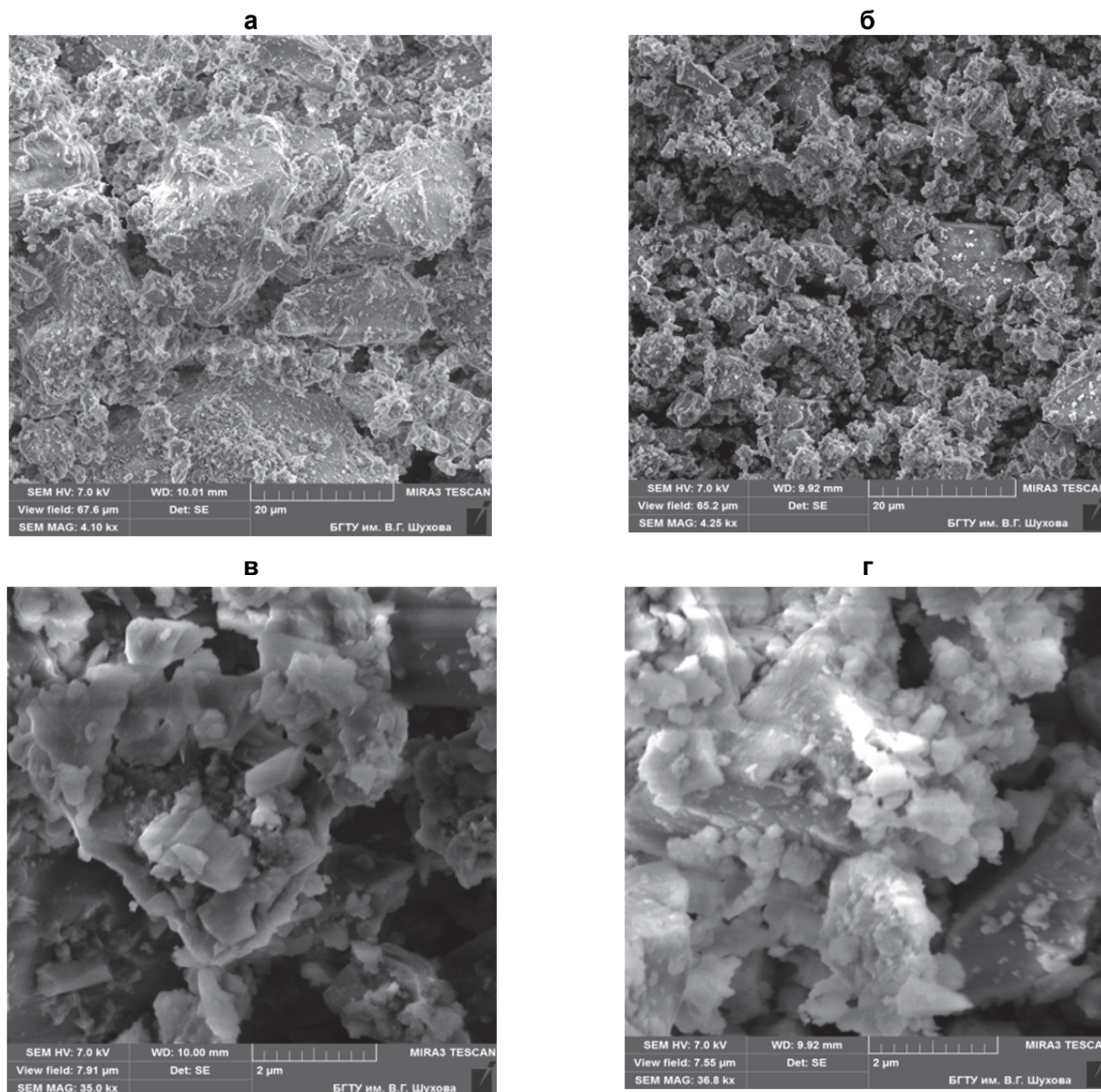
Изучение свойств композиционных вяжущих показало, что у ВНВ-100 активность более чем на 70% выше по сравнению с исходным цементом, также снижаются водоцементное отношение и нормальная густота в сравнении с цементом (табл. 1).

Таблица 1. Физико-механические характеристики композиционного вяжущего

Вид вяжущего	Нормальная густота теста, %	Сроки схватывания, час-мин		В/Ц	Активность вяжущего, (МПа)	
		начало	конец		при изгибе	при сжатии
ЦЕМ I 42.5Н	26,2	2-40	4-50	0,4	7,2	48,9
ТМЦ-50 (на граните)	26,8	2-40	4-40	0,41	5,8	41,7
ТМЦ-50 (на КВП)	27,1	2-30	4-40	0,43	6,5	46,3
ВНВ-50 (на граните)	23,2	2-10	4-30	0,33	5,2	47,1
ВНВ-50 (на КВП)	24,3	2-10	4-10	0,35	8,8	52,2
ТМЦ-100	25,3	2-20	4-10	0,44	10,2	71,3
ВНВ-100	22,8	2-10	3-30	0,28	12,4	85,2

Таким образом, при введении суперпластификатора «Полипласт СП-1» в количестве 0,6% возможно получение вяжущего активностью 85,2 МПа.

Структура цементного камня на ВНВ-100 плотнее по сравнению с обычным портландцементом (рис. 3).



**Рисунок 3. Микроструктура в зависимости от свойств вяжущих:  
а, в – морфология новообразований цементного камня Цем I 42,5Н;  
б, г – морфология новообразований цементного камня ВНВ-100;  
увеличение а, б –  $\times 4000$ , в, г –  $\times 35000$**

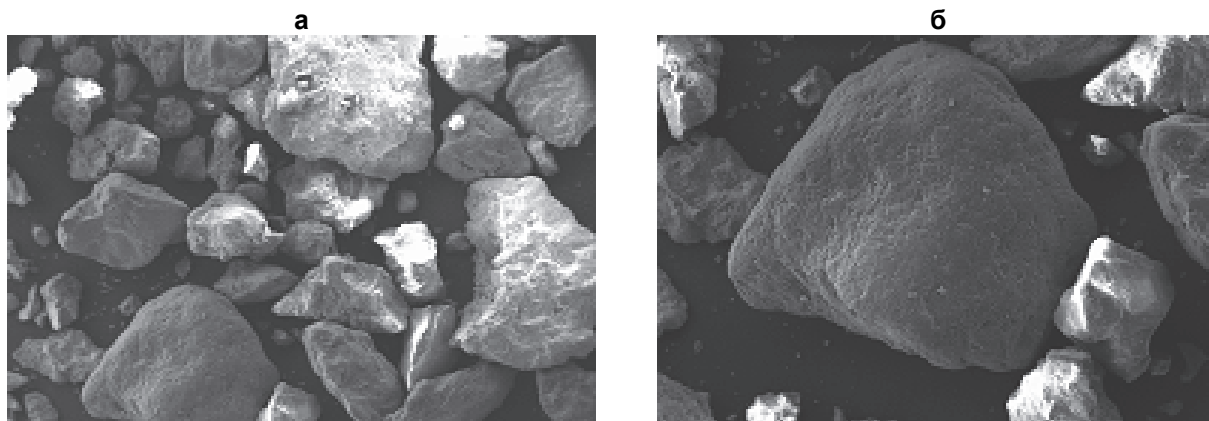
Это определяется наличием тончайших пленок воды между зернами вяжущего и образованием в стесненном объеме низкоосновных гидросиликатов кальция и других новообразований.

В результате проведенных исследований и анализа полученных данных установлено, что наилучшие физико-механические показатели и наибольшую прочность имеют образцы на основе ВНВ-100. Это объясняется низким значением водопотребности смеси, лучшей пространственной упаковкой частиц в полученном композите. Применение тонкомолотых вяжущих с добавкой суперпластификатора позволяет существенно увеличить прочностные характеристики бетона.

Специфическая форма и морфология поверхности рассматриваемого сырья обусловлены генезисом исходной породы и процессом ее дробления. Зерна отсева имеют угловатую форму с высокоразвитой поверхностью, что будет способствовать высокой адгезии к цементному камню. Однако необходимо отметить, что данный показатель у отсева дробления гранита несколько ниже, чем у кварцитопесчаника. Это объясняется присутствием в его составе до 65% ортоклаза и плагиоклаза, обладающих совершенной спайностью, и 5% слюды, обладающей весьма совершенной спайностью (рис. 4) [1].

Клюев С.В., Клюев А.В., Сопин Д.М., Нетребенко А.В., Казлитин С.А. Тяжелонагруженные полы на основе мелкозернистых фибробетонов





**Рисунок 4. Микроструктура отсева дробления гранита; увеличение: а –  $\times 200$ , б –  $\times 2000$**

При определении физико-механических свойств отсева дробления гранита было установлено, что он обладает высокой прочностью и плотностью, не уступая по данным показателям отсева дробления кварцитопесчаника, а по ряду свойств даже превосходя его (табл. 2).

**Таблица 2. Физико-механические свойства отсева дробления гранита**

№ п/п	Наименование показателя	Обозначение показателя	Численные значения
1	Модуль крупности	$M_{кр}$	2,89
2	Насыпная плотность в неуплотненном состоянии	$\rho_{нас}$	1536 кг/м <sup>3</sup>
3	Насыпная плотность в уплотненном состоянии	$\rho_{насупл}$	1606 кг/м <sup>3</sup>
4	Истинная плотность	$\rho_{ист}$	2640 кг/см <sup>3</sup>
5	Пустотность	$V_{м.п.}$	51,2%
6	Водопотребность	$V_{отс}$	7,8%
7	Цементопотребность	$C_{потр}$	0,71

С целью получения высококачественных сталефибробетонов в бетонную матрицу было введено четыре вида фибры (рис. 5).



**Рисунок 5. Виды стальной фибры: 1 – фибра проволочная анкерная 50×0,8мм; 2 – фибра волновая 30×0,8мм; 3 – фибра резаная из металлического листа 40×0,8мм; 4 – фибра фрезерованная из сляба 32×3,8 мм**

Для оценки возможности применения оптимального вида фибры при производстве высококачественного мелкозернистого сталефибробетона были разработаны составы, в которых в качестве заполнителя применялся отсев дробления гранита и вяжущее ЦЕМ I 42,5 Н (рис. 6).

Полученные результаты показывают, что наилучшими прочностными характеристиками обладает мелкозернистый сталефибробетон с использованием фрезерованной фибры из сляба. Применение стальной фрезерованной фибры предпочтительнее по сравнению с другими видами, так как поверхностная площадь ее сцепления с бетоном в 4 раза больше, чем у фибры круглого или квадратного сечения, и при перемешивании фрезерованная фибра не образует «ежей».

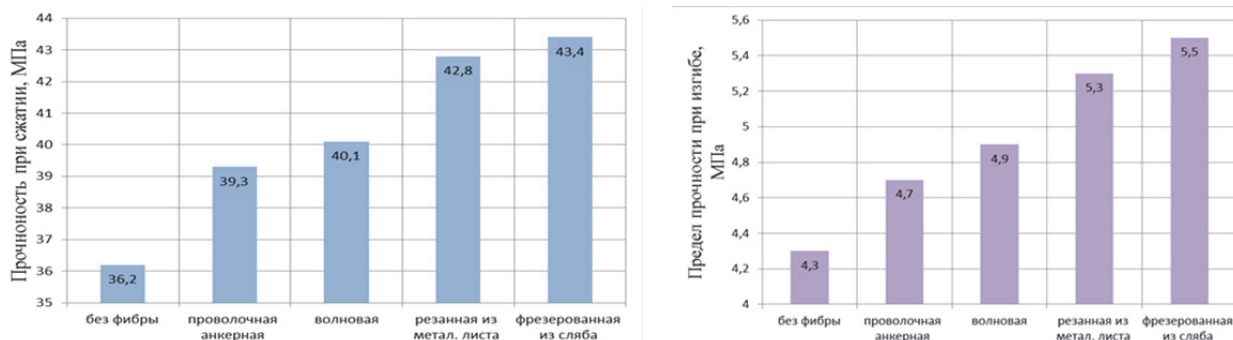


Рисунок 6. Прочностные характеристики мелкозернистого сталефибробетона на различных видах стальной фибры

Для определения оптимального процента армирования мелкозернистого сталефибробетона были заформованы образцы бетона одинакового состава с различным содержанием стальной фибры (рис. 7).

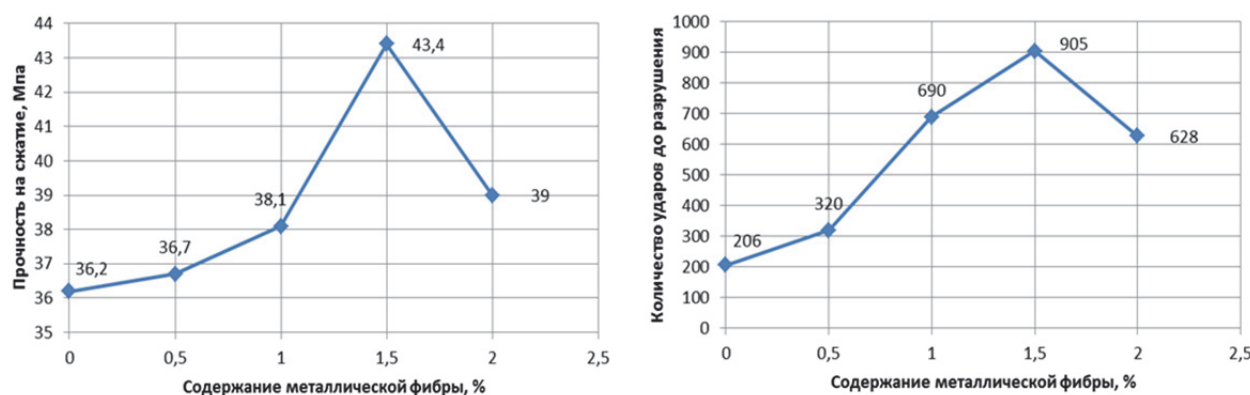


Рисунок 7. Зависимости прочности на сжатие и ударной выносливости сталефибробетона от объемной концентрации стальной фибры

Установлено, что при 1,5%-м армировании по объему удается получить максимальные физико-механические показатели [1].

Для бетонных образцов с высокоплотным составом заполнителя была установлена более высокая прочность бетона по сравнению с аналогичными составами на обычном заполнителе. Бетон с высокоплотным составом заполнителя имеет в 2–3 раза большую прочность, чем обычный мелкозернистый бетон, что объясняется лучшей пространственной упаковкой частиц в полученном композите и особенностями структурообразования.

Для образцов с высокоплотной упаковкой отсева дробления гранита и гиперпластификатором Mugarplast FK 68 были получены следующие результаты, представленные в таблице 3.

Таблица 3. Физико-механические характеристики мелкозернистого бетона с высокоплотной упаковкой заполнителя

Вид вяжущего	Вяжущее	Расход материалов, кг/м <sup>3</sup>				Вода	В/В	Прочность при сжатии, Рсж, МПа
		Отсев + песок						
		Фракция						
		2,5	1,25	0,63	0,315			
Цем I 42,5 Н	720	1440				273	0,38	36,2
Цем I 42,5 Н	720	570	442	280	148	259	0,36	56,4
ВНВ-100	720	570	442	280	148	201	0,28	93,2

Были разработаны составы мелкозернистого бетона с использованием в качестве заполнителя отсева дробления гранита. Для получения более плотной упаковки заполнителя использовался песок Шебекинского месторождения с модулем крупности 1,2. В качестве вяжущего применялись ВНВ-100 и портландцемент Цем I 42,5Н; их характеристики приведены в таблице 4.

**Таблица 4. Физико-механические характеристики мелкозернистого бетона в зависимости от состава вяжущего**

Вид вяжущего	Расход материалов на 1 м <sup>3</sup> смеси				Добавка «Muraplast FK 68», кг/м <sup>3</sup>	Стальная фибра, кг/м <sup>3</sup>	Плотность бетона в момент испытания, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности образцов при сжатии, R <sub>сж</sub> , (МПа)	Предел прочности образцов при изгибе, R <sub>изг</sub> , (МПа)
	Вяжущее, кг/м <sup>3</sup>	Отсев дробления гранита, кг/м <sup>3</sup>	Песок, кг/м <sup>3</sup>	Вода, л/м <sup>3</sup>					
ЦЕМ I 42,5Н	720	1440	-	273	-	-	2290	36,2	4,3
ЦЕМ I 42,5Н	720	975	465	288	-	-	2330	42,7	5,1
ЦЕМ I 42,5Н	720	975	465	259	5,76	-	2320	56,4	6,9
ЦЕМ I 42,5Н	720	975	465	250	5,76	36,5	2380	67,7	8,4
ТМЦ-100	720	1440	-	295	-	-	2280	44,1	5,5
ТМЦ-100	720	975	465	324	-	-	2330	57,3	7,1
ТМЦ-100	720	975	465	266	5,76	-	2340	75,6	9,1
ТМЦ-100	720	975	465	266	5,76	36,5	2390	90,7	10,5
ВНВ-100	720	1440	-	238	-	-	2300	59	7,7
ВНВ-100	720	975	465	252	-	-	2355	70,6	8,6
ВНВ-100	720	975	465	201	5,76	-	2350	93,2	11,2
ВНВ-100	720	975	465	201	5,76	36,5	2385	118,8	14,1

Важными характеристиками бетона, используемого при устройстве полов, являются водопоглощение, истираемость и морозостойкость. Эти свойства оказывают существенное влияние на его долговечность, в связи с чем было проведено исследование данных показателей. Результаты исследований подтверждают возможность применения полученных сталефибробетонов (табл. 5) [15–21].

**Таблица 5. Водопоглощение, истираемость и морозостойкость в зависимости от состава вяжущего**

Вид вяжущего	Водопоглощение бетона по массе, %	Истираемость, G, г/см <sup>2</sup>	Морозостойкость
ЦЕМ I 42,5 Н	4,5	0,43	F300
ЦЕМ I 42,5 Н (упаковка)	4,1	0,41	
ЦЕМ I 42,5 Н (упаковка + Muraplast FK 68)	3,6	0,39	
ЦЕМ I 42,5 Н (упаковка + Muraplast FK 68 + ст. фибра)	3,6	0,33	
ТМЦ-100	3,4	0,38	F500
ТМЦ-100 (упаковка)	3,0	0,35	
ТМЦ-100 (упаковка + Muraplast FK 68)	2,8	0,34	
ТМЦ-100 (упаковка + Muraplast FK 68 + ст. фибра)	2,8	0,3	
ВНВ-100	2,5	0,29	F700
ВНВ-100 (упаковка)	2,2	0,27	
ВНВ-100 (упаковка + Muraplast FK 68)	2,1	0,23	
ВНВ-100 (упаковка + Muraplast FK 68 + ст. фибра)	2,1	0,23	

Согласно таблице 5, полученные бетоны характеризуются низкими показателями водопоглощения и истираемости, высокой морозостойкостью. Это объясняется использованием обогащенного песком отсева гранита, что позволило получить оптимальный состав мелкого заполнителя в отличие от традиционно применяемого и улучшить свойства материала за счет уплотненной структуры бетона.

Исследование деформативных свойств бетонов разработанных составов позволяет сделать вывод о том, что на отсеве дробления гранита можно получить мелкозернистые сталефибробетоны для изготовления промышленных полов, соответствующих нормативно-технической документации для данного вида работ (табл. 6).

**Таблица 6. Деформативные характеристики мелкозернистого сталефибробетона**

Вид вяжущего	Призмная прочность, МПа	Модуль упругости $E_b \cdot 10^{-3}$ , МПа	Ударная выносливость, количество ударов
ЦЕМ I 42,5 Н	27,3	24,8	206
ЦЕМ I 42,5 Н (упаковка)	32,8	29,8	420
ЦЕМ I 42,5 Н (упаковка + Muraplast FK 68)	43,4	37,9	690
ЦЕМ I 42,5 Н (упаковка + Muraplast FK 68 + ст. фибра)	53,1	46,6	1030
ТМЦ-100	33,7	31,4	470
ТМЦ-100 (упаковка)	44,4	40,6	810
ТМЦ-100 (упаковка + Muraplast FK 68)	56,6	53,4	1102
ТМЦ-100 (упаковка + Muraplast FK 68 + ст. фибра)	67,9	62,8	1460
ВНВ-100	46,1	41,7	960
ВНВ-100 (упаковка)	67,3	49,6	1208
ВНВ-100 (упаковка + Muraplast FK 68)	72,7	65,3	1620
ВНВ-100 (упаковка + Muraplast FK 68 + ст. фибра)	87,2	78,5	2110

## Выводы

1. Предложены принципы повышения эффективности и улучшения эксплуатационных характеристик мелкозернистых бетонов, используемых для строительства тяжелонагруженных полов:

- оптимизация структуры на нано-, микро- и макроуровнях за счет применения композиционных вяжущих;
- создание высокоплотной упаковки зерен заполнителя из кварцсодержащих пород;
- дисперсное армирование.

2. Установлен характер влияния двух систем пластификаторов:

- введение пластифицирующей добавки «Полипласт СП-1» при помоле клинкера способствует дезинтеграции системы за счет раскливающего действия (так называемого эффекта Ребиндера) и сдерживает образование кватеронов, что увеличивает сроки схватывания цементного камня;
- Muraplast FK 68, вводимый с водой затворения, существенно снижает водоцементное отношение при заданной подвижности, что оптимизирует процесс структурообразования и создает синергетический эффект за счет использования композиционных вяжущих, создания высокоплотной упаковки заполнителя и введения фибры. Это приводит к снижению микротрещинообразования, оптимизации структуры, увеличению деформационных характеристик в 2–3 раза, а ударной прочности – в 10 раз по сравнению с традиционным бетоном [1].

## Литература

1. Казлитин С.А. Фибробетон для тяжелонагруженных полов: Автореф. дис. канд. техн. наук / Казлитин С.А.; Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Белгород, 2012. 19 с.
2. Brandt A.M. Cement-Based Composites: Materials, Mechanical Properties and Performance. London: Spon Press, 2009. 544 p.
3. Fernandes G.R. La influencia de algunas características de las arenas finas (arenas) en las propiedades del hormigón de cemento Portland // Cemento e Hormigón. 1976. Vol. 47. No.506. Pp. 415–428.
4. Herr O. Les matériaux autocompactants essorables de structure (MACES). Etude de faisabilité d'une nouvelle gamme de matériaux hydrauliques pour les assises de chaussées // Bulletin des laboratoires des Ponts et Chaussées. 2001. No.232. Pp. 99–103.
5. Beudoin J.J., Lemm J.M. Handbook of Fiber-Reinforced Concrete: Principles, Properties, Developments and Applications (Building Materials Science). US: William Andrew Publishing, 1990. 194 p.
6. Maidl B. [et al.]. Steel Fibre Reinforced Concrete. Berlin: Ernst & Sohn, 1995. 292 p.
7. Piasta J. Rheological Properties of Concretes with Fine Aggregate // Cement and Concrete Research. 1985. Vol. 15. No.2. Pp. 253–260.
8. Степове А. Sur la structure des suspensions aqueuses des ciments purs ou mélanges et sur les propriétés techniques de ces suspensions durcies // Revue des Matériaux de Constructions. 1981. No.508. Pp. 1–9.
9. Takemura K. Some Properties of Concrete Using Crushed Stone Dust as Fine Aggregate // The Cement Association of Japan. 13-th General Meeting Technical Session. YI Review. Tokyo, 1976. Pp. 95–97.
10. Пухаренко Ю.В. Принцип формирования структуры и прогнозирование прочности фибробетонов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2004. №10. С. 47–50.
11. Рабинович Ф.Н. Дисперсно армированные бетоны. М.: Стройиздат, 1989. 174 с.
12. Рабинович Ф.Н. Композиты на основе дисперсно армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции. М.: АСВ, 2004. 560 с.
13. Талантова К.В. Основы создания сталефибробетонных конструкций с заданными свойствами // Бетон и железобетон. 2003. №5. С. 4–8.
14. Талантова К.В. Создание элементов конструкций с заданными свойствами на основе сталефибробетона // Известия вузов. Строительство. 2008. №10. С. 4–9.
15. Ключев А.В., Ключев С.В., Лесовик Р.В., Михайлова О.Н. Отходы горнодобывающих предприятий как сырье для производства мелкозернистого бетона армированного фибрами // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2010. №4. С. 81–84.
16. Ключев С.В. Экспериментальные исследования фибробетонных конструкций // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2011. №4. С. 71–74.
17. Ключев С.В. Высокопрочный фибробетон для промышленного и гражданского строительства // Инженерно-строительный журнал. 2012. №8(34). С. 61–66.
18. Лесовик Р.В., Ключев С.В. Фибробетон на композиционных вяжущих и техногенных песках Курской магнитной аномалии для изгибаемых конструкций // Инженерно-строительный журнал. 2012. №3(29). С. 41–47.
19. Сопин Д.М. Высококачественный мелкозернистый бетон с использованием сырьевых ресурсов КМА: автореф. дис. канд. техн. наук / Д.М. Сопин; Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Белгород, 2009. 22 с.

*\*Сергей Васильевич Ключев, Белгород, Россия  
Тел. раб.: +7(4722)34-66-18; эл. почта: Klyuyev@yandex.ru*

© Ключев С.В., Ключев А.В., Сопин Д.М., Нетребенко А.В., Казлитин С.А., 2013

Ключев С.В., Ключев А.В., Сопин Д.М., Нетребенко А.В., Казлитин С.А. Тяжелонагруженные полы на основе мелкозернистых фибробетонов



doi: 10.5862/MCE.38.1

## Heavy loaded floors based on fine-grained fiber concrete

S.V. Klyuyev;  
A.V. Klyuyev;  
D.M. Sopin;  
A.V. Netrebenko;  
S.A. Kazlitin,

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia  
+7(4722)34-66-18; e-mail: Klyuyev@yandex.ru

### Key words

fine-grained concrete; technogenic sand; fiber concrete

### Abstract

Urgent problems of using needle fiber for fine-grained concrete disperse reinforcement are considered in the article. The fine cement and binder agent with low water requirements were used as an astringent. The main filling material of a fiber concrete mix was granite siftings.

It is established that application of the composite binder agent and high-density packaging of filling grains increases strength properties a lot. Optimal selection of filling material allowed to receive steel fiber concrete with ultimate compressive strength 118,8 MPa, and ultimate bending strength 14,1 MPa for heavily loaded floors of industrial buildings.

It is established, that application of composite binder agent and high-density packaging of filling grains of concrete matrix can be effective in social, ecological and economic spheres. Incidentally, the economic effect of using new building materials will consist in consumption decrease of astringent for account of optimal conditions of steel fiber concrete structure formation.

### References

1. Kazlitin S.A. *Fibrobeton dlya tyazhelonagruzhenykh polov* [Fiber concrete for heavily loaded floors]. Abstract of a PhD thesis. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Belgorod, 2012. 19 p. (rus)
2. Brandt A.M. *Cement-Based Composites: Materials, Mechanical Properties and Performance*. London: Spon Press, 2009. 544 p.
3. Fernandes G.R. La influencia de algunas características de las arenas finas (arenas) en las propiedades del hormigón de cemento Portland. *Cemento e Hormigón*. 1976. Vol. 47. No.506. Pp. 415–428.
4. Herr O. Les matériaux autocompactants essorables de structure (MACES). Etude de faisabilité d'une nouvelle gamme de matériaux hydrauliques pour les assises de chaussées. *Bulletin des laboratoires des Ponts et Chaussées*. 2001. No.232 Pp. 99–103.
5. Beduoin J.J., Lemm J.M. *Handbook of Fiber-Reinforced Concrete: Principles, Properties, Developments and Applications (Building Materials Science)*. US: William Andrew Publishing, 1990. 194 p.
6. Maidl B. [et al.] *Steel Fibre Reinforced Concrete*. Berlin: Ernst & Sohn, 1995. 292 p.
7. Piasta J. Rheological Properties of Concretes with Fine Aggregate. *Cement and Concrete Research*. 1985. Vol. 15. No.2. Pp. 253–260.
8. Steopoe A. Sur la structure des suspensions aqueuses des ciments purs ou mélanges et sur les propriétés techniques de ces suspensions durcies. *Revue des Matériaux de constructions*. 1981. No.508. Pp. 1–9.
9. Takemura K. Some Properties of Concrete Using Crushed Stone Pust as Fine Aggregate. The Cement Association of Japan. *13-th General Meeting Technical Session. YI Review*. Tokyo, 1976. Pp. 95–97.
10. Pukhareno Yu.V. *Construction materials, the equipment, technologies of XXI century*. 2004. No.10. Pp. 47–50. (rus)
11. Rabinovich F.N. *Dispersno armirovannye betony* [Fibre concretes]. Moscow: Stroyizdat, 1989. 174 p. (rus)

Klyuyev S.V., Klyuyev A.V., Sopin D.M., Netrebenko A.V., Kazlitin S.A. Heavy loaded floors based on fine-grained fiber concrete

12. Rabinovich F.N. *Kompozity na osnove dispersno armirovannykh betonov. Voprosy teorii i proektirovaniya, tekhnologiya, konstruksiy* [Composites based on fibre concretes. The issue of the theory and design, technology and construction]. Moscow: ASV, 2004. 560 p. (rus)
13. Talantova K.V. *Beton i zhelezobeton*. 2003. No.5. Pp. 4–8. (rus)
14. Talantova K.V. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2008. No.10. Pp. 4–9. (rus)
15. Klyuyev A.V., Klyuyev S.V., Lesovik R.V., Mikhaylova O.N. *Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova*. 2010. No.4. Pp. 81–84. (rus)
16. Klyuyev S.V. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2011. No.4. Pp. 71–74. (rus)
17. Klyuyev S.V. *Magazine of Civil Engineering*. 2012. No.8(34). Pp. 61–66. (rus)
18. Lesovik R.V., Klyuyev S.V. *Magazine of Civil Engineering*. 2012. No.3(29). Pp. 41–47. (rus)
19. Sopin D.M. *Vysokokachestvennyy melkozernisty beton s ispolzovaniyem syryevykh resursov KMA* [High-quality fine concrete using raw materials resources of Kursk Magnetic Anomaly]. Abstract of a PhD thesis. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Belgorod, 2009. 22 p. (rus).

**Full text of this article in Russian: pp. 7–14**