

Е.А. Щеткова^{1, 2}, Г.Г. Кашеварова²

¹Пермская государственная сельскохозяйственная академия
им. академика Д.Н. Прянишникова,

²Пермский национальный исследовательский политехнический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ МОДИФИЦИРОВАННОГО МЕЛКОЗЕРНИСТОГО ДЕКОРАТИВНОГО БЕТОНА

Цель данной работы – исследование мелкозернистого декоративного бетона, модифицированного химическими добавками и армированного базальтовыми и хризотиловыми волокнистыми материалами. Проведены испытания прочности на сжатие и на растяжение при изгибе, оценка водоцементного соотношения сырьевой смеси в зависимости от вида используемого пластификатора. Дан анализ и оценка прочностных свойств, технологичности и эстетической ценности получаемой многокомпонентной смеси в зависимости от применяемых модификаторов, а также рассмотрены проблемы, связанные с получением мелкозернистого декоративного бетона. В результате исследования разработан состав мелкозернистого декоративного модифицированного бетона с высокими показателями на растяжение при изгибе и при сжатии за счет армирующих волокон и пластифицирующей добавки, который был использован для создания архитектурных тонкостенных изделий для фасадов зданий и малых архитектурных форм. Представлены рекомендации для получения смеси мелкозернистого декоративного бетона модифицированной химическими и волокнистыми материалами, базальтом и хризотилом.

Ключевые слова: фибробетон, мелкозернистый бетон, декоративный бетон, фибра, базальтовые волокна, волокна хризотила, пластификатор, водоцементное соотношение.

Сегодня на рынке существуют многообразные архитектурные изделия для фасадов, интерьеров и ландшафтного дизайна, созданные из декоративного мелкозернистого бетона. Состав декоративного бетона в зависимости от назначения может быть модифицирован химическими или волокнистыми добавками, с целью создания изделий с высокими эстетическими и эксплуатационными свойствами [1–8]. При этом процесс изготовления таких многокомпонентных смесей должен быть технологичным и экономически целесообразным.

Щеткова Е.А., Кашеварова Г.Г. Исследование свойств модифицированного мелкозернистого декоративного бетона // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2017. – № 3. – С. 143–151. DOI: 10.15593/2409-5125/2017.03.11

Shchetkova E., Kashevarova G. Investigation of modified fine-grained decorative concrete. PNRPU. Applied ecology. Urban development. 2017. No. 3. Pp. 143-151. DOI: 10.15593/2409-5125/2017.03.11

Эстетическая ценность заключается в длительном сохранении целостности и формы изделия, яркости окраски или поверхностной структуры, отсутствии высолов, трещин и сколов. С точки зрения технологии изготовления изделий из декоративного бетона смесь должна обладать пластичностью, высокой удобоукладываемостью, с минимальными усадкой и тепловлажностным расширением [1–8]. Также нужно помнить, что готовые архитектурные изделия будут постоянно подвергаться негативному воздействию городской среды: перепадам температурно-влажностных условий, сернистым и азотным оксидам в воздухе, возможным кислотно-щелочным осадкам, постоянной вибрации от проезжающего транспорта, поэтому декоративный бетон должен быть долговечным с высокими физико-механическими свойствами. Все это определяет возможность эксплуатации изделий из декоративного бетона без специального обслуживания и стоимость содержания фасадов или памятников архитектуры. Процесс создания таких смесей сложен и требует расчетно-экспериментальных данных для получения многокомпонентных бетонных систем с заданными свойствами.

Цель и задачи. В данной работе исследовался мелкозернистый декоративный бетон для создания архитектурных изделий. Оценка производилась в зависимости от вида, соотношения и концентрации:

- пластифицирующей добавки, позволяющей уменьшить количество воды в смеси в сочетании с высокой подвижностью и пластичностью раствора;
- волокон базальта и хризотила, позволяющих повысить вязкость разрушения, трещиностойкость и прочностные характеристики мелкозернистого бетона.

На рис. 1 представлены готовые тонкостенные фасадные изделия, созданные на основе исследуемого в данной работе мелкозернистого декоративного бетона, модифицированного химическими добавками и волокнистыми материалами.

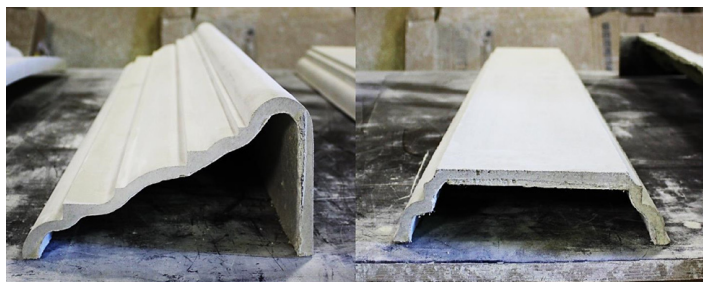


Рис. 1. Архитектурные изделия для фасадного декора, созданные из анализируемого мелкозернистого декоративного бетона

Материалы и методы исследования:

- портландцемент ЦЕМ I 52.5 Н, белый без минеральных добавок 1-го сорта (ПЦБ 1-500-Д0). Производитель ОАО «Щуровский цемент»;
- кварцевый песок строительный, просушенный, фракций: 0,19–0,28; 0,31–0,63; до 2,5 мм;
- для дисперсного армирования использовались два вида волокон: хризотил марки А-2-30, базальтовое волокно длиной 12,7 мм;
- суперпластификатор-1 на основе сульфированного нафталин-формальдегидного конденсата, суперпластификатор-2 на основе сульфоната меламина, гиперпластификатор на основе эфиров поликарбоксилатов.

Результаты исследования и их обсуждение. В данном исследовании подбор состава производился расчетно-экспериментальным путем. Для проведения экспериментов были созданы образцы кубов с гранью в 70 мм для определения прочностных и деформативных свойств исследуемого мелкозернистого бетона в условиях осевого сжатия; и призматических балок размером 40×40×160 мм для определения растяжения при изгибе.

Эксперименты проводились по ГОСТ 10180–2012 в лабораториях СКИВМ и СИМ Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прочность образцов определяли в возрасте 28 и 3 сут, так как за это время после заливки и формования образцов происходит максимальное расширение бетона под действием химических модификаторов и заполнителей.

Первоначально был проанализирован пластифицирующий эффект в зависимости от вида применяемой химической добавки (табл. 1) [9–11].

Таблица 1

Результаты исследования влияния пластифицирующей добавки на свойства декоративного бетона

Показатели	В/Ц	Содержание добавки, %	Прочность на сжатие, МПа		Подвижность смеси
			3 сут	28 сут	
Контроль	0,41	–	4,31	40,12	П1
Суперпластификатор-1	0,368	3	3,82	45,61	с П1 до П3
Суперпластификатор-2	0,322	2,5	4,20	46,85	с П1 до П3
Гиперпластификатор	0,269	0,3	3,68	49,31	с П1 до П5

Исследовались:

- 1) суперпластификатор-1 на основе сульфированного нафталин-формальдегидного конденсата;
- 2) суперпластификатор-2 на основе сульфоната меламина;
- 3) гиперпластификатор на основе эфиров поликарбоксилатов.

Точные данные по оптимальному водоцементному соотношению для декоративных бетонов, модифицированных химическими добавками, отсутствовали, поэтому расход воды в анализируемых смесях при добавлении пластифицирующей добавки определялся предварительным испытанием и затем постоянно контролировался в ходе заливки и формования образцов. Это повышало требования к технологии производства, точности взвешивания и дозировки веществ, поскольку даже небольшие изменения в расходе супер- и в особенности гиперпластификаторов влекли за собой сильное разжижение смеси, хотя даже при подобном нарушении не наблюдалось расслаивания готовой смеси.

Все пластифицирующие добавки задерживали начало периода первичного схватывания смеси, увеличивая время до процесса распалубки форм. Но это позволяло качественно сформовать сложные по конфигурации изделия. В 28-дневный срок показатели прочности на сжатие в образцах были более высокими по сравнению с контрольными образцами. Максимальную прибавку +22,9 % значения прочностных свойств дала гиперпластифицирующая добавка.

Суперпластификатор-1 на основе сульфированного нафталинформальдегидного конденсата не подошел для применения на производстве изделий из декоративного мелкозернистого бетона по двум причинам. Во-первых, на готовых изделиях появлялись стойкие высолы, из-за содержания в суперпластификаторе сульфата натрия Na_2SO_4 . Во-вторых, изделия из смеси на данном пластификаторе получались более серыми по сравнению с контрольным вариантом. Кроме того, данная добавка содержит формальдегид, и поэтому для уменьшения вредного воздействия на работников было решено отказаться от данного суперпластификатора.

Суперпластификатор-2 на основе сульфоната меламина также окрашивал сырьевую смесь, так как имел в зависимости от поставляемой партии темно-коричневую и светло-коричневую окраску.

Гиперпластификатор на основе эфиров поликарбоксилатов оказался самым дорогостоящим в сравнении с другими пластификаторами, но при этом существенно увеличивалось время жизни раствора, улучшились его пластичность и удобоукладываемость, расслаиваемости смеси не наблюдалось. Все это упрощало проведение технологических работ по формованию и заливке сложных по внешнему виду конструкций и архитектурных изделий.

Дальнейшие исследования были посвящены оценке эффективности использования волокон базальта и хризотила, которые использовались для дисперсного армирования декоративного бетона (табл. 2) [12–18]. Для этого было исследовано 6 вариантов образцов (от В1 до В6) по 3 повторности.

Таблица 2

Результаты исследований эффективности волокнистых
и полимерных модификаторов декоративного бетона

Показатель	Контроль	B1	B2	B3	B4	B5	B6
Хризотил, %	–	1,0	–	2,5	–	4,0	–
Базальт, %	–	–	1,0	–	2,5	–	4,0
В/Ц	0,27	0,29	0,28	0,32	0,31	0,36	0,34
Прочность на сжатие, МПа:							
3 сут	4,61	7,03	6,61	7,40	7,20	7,82	7,41
28 сут	44,36	47,1	44,8	46,9	47,5	40,0	41,2
Прочность на растяжение, МПа:							
3 сут	1,32	1,85	1,83	2,00	2,22	2,06	2,14
28 сут	10,2	13,5	14,2	18,3	17,5	11,4	11,2

Фибровое армирование базальтовыми и хризотиловыми волокнами в определенной концентрации к вяжущему в бетонной смеси повышает прочность на сжатие, но в большей степени влияет на увеличение вязкости разрушения, повышение трещиностойкости и износостойкости бетонов. Использование фибр позволяет уменьшить количество канальцев и пустот в получаемом материале, повышая его устойчивость в агрессивных средах и повышая морозостойкость, уменьшая водопотребление, вследствие чего уменьшается и проницаемость такого материала к химическим веществам из окружающей среды, пылевые частички, вода и грязь впитываются медленнее. Кроме того, волокна базальта и хризотила полностью совместимы с химическими модификаторами добавками для бетона и получаемой смесью. По сравнению со стальной фиброй и стекловолокном данные волокна более экономически целесообразны, коррозионно- и щелочестойки.

На данный момент в России широкому использованию дисперсно-армированных фибробетонов препятствует:

- 1) большое количество противоречивой информации по технологии его производства;
- 2) трудность качественного распределения фибр в объеме получаемого материала;
- 3) необходимость предварительной работы с волокнами;
- 4) отсутствие точных подходов к расчетам инженерных конструкций из дисперсно-армированных фибробетонов.

Все это повышает требования к технологии дозирования материалов, по разработке устойчивой технологии и рецептуры, к проведению определенных предварительных работ, к последовательности введения компонентов в смесь, к интенсивности и времени перемешивания.

При анализе данных эксперимента по определению прочности на растяжение при изгибе и прочности на сжатие дисперсно-армированного декоративного бетона хризотиловой и базальтовой фиброй установлено, что содержание волокон в концентрации 2,5 % по отношению к массе вяжущего вещества, в данном случае белого портландцемента, дает лучшие результаты. Фибровое армирование хризотилом и базальтом увеличит прочностные показатели в 3-суточном возрасте образцов, что улучшает распалубку конструкционно сложных изделий, а это важно для создания архитектурных изделий малых форм.

Хризотил в концентрации 2,5 % от массы вяжущего вещества показал более высокие показатели прочности бетона на растяжение, на 8 % больше, чем у базальта в той же концентрации, что составило +79,4 % по сравнению с контролем. Прочность бетона на сжатие по сравнению с контролем повысилась при армировании хризотилом в концентрации 1 и 2,5 %.

Увеличение содержания волокон как базальтовых, так и хризотилowych до 4 %, привело к неравномерному распределению скоплений не перемешанных фибр («ежей») по объему образцов. «Ежи» создавали неоднородность структуры дисперсно-армированного декоративного фибробетона, что способствовало образованию зон концентрации напряжений, образованию трещин и снижению прочностных характеристик бетонных изделий.

Добавление фибр базальта и хризотила увеличило потребность в воде смеси мелкозернистого бетона, что привело к пропорциональному увеличению водоцементного соотношения. При этом хризотил в сравнении с базальтом требовал больше воды, ввиду своей высокой химической активности.

В процессе формования образцов из дисперсно-армированного бетона выявлено несколько технологических недостатков хризотила в сравнении с базальтом: хризотил очень сильно пушился, и при одной и той же массе занимал больше объема, примерно в 3 раза, чем базальт; затраты времени на эффективное распределение хризотила при предварительном затворении водой были больше.

Кроме технологических особенностей и прочностных свойств мелкозернистого декоративного фибробетона, анализировалась величина усадки. Это очень важно для сохранения эстетической и художественной ценности при создании архитектурных изделий. Было выяснено, что при снижении водоцементного соотношения, усадка и коробление образцов уменьшались. Это связано с формированием более плотной структуры модифицированной бетонной смеси.

В результате проведенного исследования был разработан оптимальный состав мелкозернистого декоративного модифицированного бетона с высокими показателями на растяжение при изгибе и при сжатии за счет

армирующих волокон и пластифицирующей добавки, который был использован для создания архитектурных тонкостенных изделий для фасадов зданий и малых архитектурных форм.

Рекомендации:

1. Получение смеси мелкозернистого декоративного дисперсно-армированного бетона необходимо проводить с помощью высокоскоростных мешалок, но при этом ограничить продолжительность смешения до 5–10 мин в зависимости от подвижности смеси.

2. Предварительно бетонную смесь из сухих составляющих: цемента, песка и других заполнителей – хорошо перемешать, а после добавить 2/3 воды затворения с пластифицирующей добавкой.

3. Существует два способа добавления в смесь волокон базальта или хризотила: сухой и влажный. Можно либо предварительно затворить в воде фибру и после распределения волокон добавлять их в цементный раствор, либо, перемешав сухую фибру вместе с сухими компонентами смеси до полного распределения волокон, добавлять жидкие компоненты.

4. Для уплотнения нецелесообразно применять метод вибропрессования, так как он приводит к повышенной пористости образцов.

Библиографический список

1. Баженова О.Ю. Особенности технологии декоративных бетонов // Технологии бетонов. – 2013. – № 4. – С. 44–45.
2. Голиков В.Г. Мелкозернистые бетоны для малых архитектурных форм на основе техногенных песков КМА: дис. ... канд. техн. наук / БГТУ им. В.Г. Шухова. – Белгород, 2005. – 210 с.
3. Дегтев Ю.В. Самоуплотняющиеся бетоны на композиционных вяжущих для малых архитектурных форм: дис. ... канд. техн. наук / БГТУ им. В.Г. Шухова. – Белгород, 2015. – 218 с.
4. Бетоны для изделий малых архитектурных форм / В.М. Зверев, Б.Н. Мельков, М.С. Шерстников // Труды Псковского политехнического института. – 2011. – № 14.2. – С. 117–121.
5. Морозостойкость окрашенных архитектурно-декоративных порошково-активированных песчаных бетонов / В.И. Калашников, О.В. Суздальцев, М.Н. Мороз, В.В. Пауск // Строительные материалы. – 2015. – № 3. – С. 16–19.
6. Вяжущие для малых архитектурных форм из самоуплотняющихся бетонов / В.С. Лесовик, Ю.В. Дегтев, В.В. Воронов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2014. – № 5. – С. 85–90.
7. Лесовик Р.В. Мелкозернистые бетоны на композиционных вяжущих и техногенных песках: дис. ... д-ра техн. наук / БГТУ им. В.Г. Шухова. – Белгород, 2009. – 496 с.
8. Суздальцев О.В. Долговечные архитектурно-декоративные порошково-активированные бетоны с использованием отходов камнедробления горных пород: дис. ... канд. техн. наук. – Пенза, 2015. – 237 с.
9. Effects of the chemical structure on the properties of polycarboxylate-type superplasticizer / K. Yamada, T. Takahashi, S. Hanehara, M. Matsuhisa // Cement and Concrete Research. – 2000. – No. 30(2). – P. 197-207.
10. Изотов В.С., Ибрагимов Р.А. Влияние некоторых гиперпластификаторов на основные свойства цементных композиций // Строительные материалы. – 2010. – № 11. – С. 14–17.
11. Вовк А.И. Добавки на основе отечественных поликарбоксилатов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2012. – № 9. – С. 31–33.
12. Бучкин А.В. Мелкозернистый бетон высокой коррозионной стойкости, армированный тонким базальтовым волокном: дис. ... канд. техн. наук. – М., 2011. – 130 с.
13. Цементные композиции, дисперсно-армированные базальтовой фиброй / Н.Г. Васильевская, И.Г. Енджиевская, И.Г. Калугин // Вестник ТГАСУ. – 2011. – № 3. – С. 153–158.

14. Влияние дисперсного армирования базальтовым волокном на прочностные свойства бетона // Перспектива развития фундаментальных наук: тр. X Междунар. конф. студ. и молодых ученых (Томск, 23–25 апр. 2013 г.) / К.Л. Кудяков, А.В. Невский, А.С. Ушакова, В.С. Плевков; Нац. исслед. Том. политехн. ун-т. – Томск, 2013. – С. 664–666.

15. Рабинович Ф.Н. Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции: моногр. – М.: Изд-во АСВ, 2004. – 560 с.

16. Сарайкина К.А., Шаманов В.А. Дисперсное армирование бетонов // Вестник Пермского государственного технического университета. Урбанистика. – 2011. – № 2. – С. 70–75.

17. Щеткова Е.А., Севастьянов Р.В. Хризотил как оптимальный армирующий агент для фибробетонов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2015. – № 2. – С. 174–191.

18. Щеткова Е.А., Севастьянов Р.В. Физико-химические аспекты преобразования хризотил-асбестовых волокон в процессе формирования фибробетонов на основе портландцементных вяжущих // Современные технологии в строительстве. Теория и практика: материалы VII Всерос. молодеж. конф. асп., молодых ученых и студ. – Вып. 4. – Ч. 1. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2015.

References

1. Bazhenova, O.Yu. Osobennosti tekhnologii dekorativnykh betonov. *Tekhnologii betonov*, 2013, no. 4, pp. 44-45.

2. Golikov V.G. Melkozernistye betony dlya malykh arkhitekturnykh form na osnove tekhnogenykh peskov KMA [Fine-grained concrete for small architectural forms on the basis of technogenic sands KMA]. Ph.D. thesis. Belgorod, 2005, 210 p.

3. Degtev Yu.V. Samouplotnyayushchiesya betony na kompozitsionnykh vyazhushchikh dlya malykh arkhitekturnykh form [Self-sealing concrete on composite astringents for small architectural forms]. Ph.D. thesis. Belgorod, 2015, 218 p.

4. Zverev V.M., Mel'kov B.N., Sherstyukov M.S. Betony dlya izdelii malykh arkhitekturnykh form. *Trudy Pskovskogo politekhnicheskogo institute*, 2011, no. 14.2, pp. 117-121.

5. Lesovik V.S., Degtev Yu.V., Voronov V.V. Vyazhushchie dlya malykh arkhitekturnykh form iz samouplotnyayushchikhsya betonov. *Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova*, 2014, no. 5, pp. 85-90.

6. Lesovik R.V. Melkozernistye betony na kompozitsionnykh vyazhushchikh i tekhnogenykh peskakh: Ph.D. thesis. Belgorod: Izd-vo BGTU im. V.G. Shukhova, 2009, 496 p.

7. Kalashnikov V.I., Suzdal'tsev O.V., Moroz M.N., Pausk V.V. Morozostoikost' okrashennykh arkhitekturno-dekorativnykh poroshkovo-aktivirovannykh peschanykh betonov. *Stroitel'nye materialy*. 2015, vol. 3, pp. 16-19.

8. Suzdal'tsev O.V. Dolgovechnye arkhitekturno-dekorativnye poroshkovo-aktivirovannye betony s ispol'zovaniem otkhodov kamedrobeniya gornykh porod: Ph.D. thesis. Penza, 2015, 237 p.

9. Yamada K., Takahashi T., Hanehara S., Matsuhisa M. Effects of the chemical structure on the properties of polycarboxylate-type superplasticizer. *Cement and Concrete Research*, 2000, vol. 30(2), pp. 197-207.

10. Izotov V.S., Ibragimov R.A. Vliyanie nekotorykh giperplastifikatorov na osnovnye svoystva tsementnykh kompozitsii. *Stroitel'nye materialy*, 2010, no. 11, pp. 14-17.

11. Vovk A.I. Dobavki na osnove otechestvennykh polikarboksilatov. *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka*, 2012, № 9, pp. 31-33.

12. Buchkin A.V. Melkozernisty beton vysokoi korrozionnoi stoikosti, armirovannyi tonkim bazal'tovym voloknom [Fine-grained concrete of high corrosion resistance, reinforced with a thin basalt fiber]. Ph.D. thesis. Moscow, 2011, 130 p.

13. Vasilovskaya N.G., Endzhievskaya I.G., Kalugin I.G. Tsementnye kompozitsii, dispersno-armirovannye bazal'tovoi fibroi. *Vestnik TGASU*, 2011, no. 3, pp. 153-158.

14. Kudyakov K.L., Nevskii A.V., Ushakova A.S., Plevkov V.S. Vliyanie dispersnogo armirovaniya bazal'tovym voloknom na prochnostnye svoystva betona [Influence of disperse reinforcement by basalt fiber on the strength propeties of concrete]. *Perspektiva razvitiya fundamental'nykh nauk. Trudy X Mezhdunarodnoi konferentsii studentov i molodykh uchenykh*. Natsional'nyi issledovatel'skii Tomskii politekhnicheskii universitet, 2013, pp. 664-666.

15. Rabinovich F.N. Kompozity na osnove dispersno-armirovannykh betonov. Voprosy teorii i proektirovaniya, tekhnologiya, konstruksii. Moscow: Izdatel'stvo ASV, 2004, 560 p.

16. Saraikina K.A., Shamanov V.A. Dispersnoe armirovanie betonov. *Vestnik Permskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta. Urbanistika*, 2011, no. 2, pp. 70-75.

17. Shchetkova E.A., Sevast'yanov R.V. Khrizotil kak optimal'nyi armiruyushchii agent dlya fibrobetonov. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2015, no. 2, pp. 174-191.

18. Shchetkova E.A., Sevast'yanov R.V. Fiziko-khimicheskie aspekty preobrazovaniya khrizotil-asbestovykh volokon v protsesse formovaniya fibrobetonov na osnove portlandtsementnykh vyazhushchikh [Physico-chemical aspects of the transformation of chrysotile-asbestos fibers in the process of forming fiber-reinforced concrete based on Portland cement binders]. *Materialy VII Vserossiiskoi molodezhnoi konferentsii aspirantov, molodykh uchenykh i studentov. Sovremennye tekhnologii v stroitel'stve. Teoriya i praktika*. Permskii natsional'nyi issledovatel'skii politekhnicheskii universitet, 2015, iss. 4, part 1.

Получено 24.01.2017

E. Shchetkova, G. Kashevarova

INVESTIGATION OF PROPERTIES OF MODIFIED FINE-GRAINED DECORATIVE CONCRETE

The purpose of this study was to investigate fine-grained decorative concrete modified with chemical additives and reinforced with chrysotile and basalt fiber materials. The compressive strength and bending tensile strength tests have been carried out; the water-cement ratio of the raw mix has been evaluated, depending on the type of plasticizer used. The analysis and evaluation of the strength properties, manufacturability and aesthetic value of the resulting multicomponent mixture depending on the modifiers used has been conducted; problems associated with obtaining fine-grained decorative concrete have been considered.

Keywords: fiber concrete, fine grained concrete, decorative concrete, fiber, basalt fibers, chrysotile fibers, plasticizer, water-cement ratio.

Щеткова Елена Андреевна (Пермь, Россия) – старший преподаватель, Пермская государственная сельскохозяйственная академия имени академика Д.Н. Прянишникова, аспирант кафедры «Строительные конструкции и вычислительная механика», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, ул. Петропавловская, 23; Комсомольский пр., 29, e-mail: Elena_Schetkova@mail.ru).

Кашеварова Галина Геннадьевна (Пермь, Россия) – д-р техн. наук, профессор, завкафедрой «Строительные конструкции и вычислительная механика», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: ggkash@mail.ru).

Schetkova Elena (Perm, Russian Federation) – Senior Lecturer, Perm State Agricultural Academy, Postgraduate student, Department «Construction structures and computational mechanics», Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Petropavlovskaya St., 23; Komsomolsky av., 29, e-mail: Elena_Schetkova@mail.ru).

Kashevarova Galina (Perm, Russian Federation) – Doctor of technical sciences, Professor, Head of Department «Construction structures and computational mechanics», Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: ggkash@mail.ru).