

Комплексное влияние углеродных модификаторов и магнитной обработки на подвижность и прочность мелкозернистых бетонов

В.А. Перфилов О.С. Сидельникова, Н.С. Пряничникова, А.В. Чернявский

Волгоградский государственный технический университет, Волгоград

Аннотация: В статье представлены составы и технология приготовления мелкозернистых бетонов с применением модифицирующих добавок и суперпластификаторов. Предложено в качестве модифицирующей добавки использовать отходы теплоэнергетических производств в виде технического углерода (сажи). В зависимости от количества сажи определяли параметры подвижности смеси и показатели прочности на сжатие и изгиб при растяжении. Установлен оптимальный расход сажевых отходов в количестве 1,0 % от массы вяжущего, при котором получены максимальные параметры подвижности смеси и прочности мелкозернистого бетона. Рассмотрено комплексное влияние сажевых отходов и суперпластификатора на изменение физико-механических свойств бетона. Совместное применение сажи и пластифицирующей добавки в соотношении 1:1 способствовало увеличению показателей подвижности и пределов прочности затвердевшего мелкозернистого бетона на сжатие и на растяжение при изгибе. Для приготовления сухих смесей применялся метод электромагнитной активации в линейно-индукционном вращателе.

Ключевые слова: мелкозернистые бетоны, сажевые отходы, суперпластификатор, электромеханическое перемешивание, подвижность, прочность.

Сухие строительные смеси, применяемые для производства мелкозернистых бетонов [1-3], в процессе затворения водой должны обладать повышенной подвижностью и удобоукладываемостью при снижении водоцементного отношения и получения готовых изделий с заданной прочностью и трещиностойкостью. Введение в смесь различных видов, в том числе, углеродных модификаторов в виде промышленных сажевых отходов может способствовать улучшению реологических и физико-механических параметров, а также снизить расход более дорогого суперпластификатора [4-6].

Для исследования влияния сажи (технического углерода) на физико-механические свойства цементно-песчаных растворов, приготовленных на основе активированных магнитной обработкой [7-9] сухих строительных смесей, проведены испытания стандартных образцов размером 40x40x160 мм.

В качестве вяжущего использовался портландцемент ЗАО «Осколцемент» марки ЦЕМ I 42,5. Мелкий заполнитель представлен кварцевым песком с модулем крупности 1,97. В качестве углеродного модификатора микроструктуры смеси применялась высокодисперсная сажа с размером частиц, не превышающим 10 мкм и насыпной плотностью до 80 кг/м³.

Технология приготовления сухой цементно-песчаной смеси состава Ц:П=1:3 совместно с сажевыми отходами без использования суперпластификатора включала перемешивание и измельчение в линейно-индукционном вращателе («ЛИВ») с индуктивностью переменного поля 0,2 Тл и частотой 50 Гц. Продолжительность электромеханического диспергирования смеси составила 240 секунд, т.к. при указанной длительности перемешивания получены максимальные значения прочностных характеристик мелкозернистых бетонов. Добавка вводилась в процентном отношении от массы цемента. Начальное водоцементное отношение для всех составов составило 0,5. Пластифицирующий эффект от применения сажи определялся с помощью встряхивающего столика по расплыву стандартного конуса. Результаты проведенных исследований мелкозернистых бетонов, приготовленных из активированных сухих смесей, представлены в табл. 1, рис. 1 и 2.

Таблица 1

Влияние сажевых отходов и магнитной обработки сухой смеси на подвижность цементно-песчаных растворов и прочность мелкозернистых бетонов

№ состава	Расход сажевых отходов, % от массы цемента	Расплыв стандартного конуса, мм	Прочность мелкозернистого бетона, МПа	
			изгиб	сжатие
1	0	108	5,6	47,24
2	0.2	119	6,1	48,22
3	0.4	122	6,4	50,71
4	0.6	125	6,2	54,34
5	0.8	126	6,7	57,56
6	1.0	128	7,1	59,31

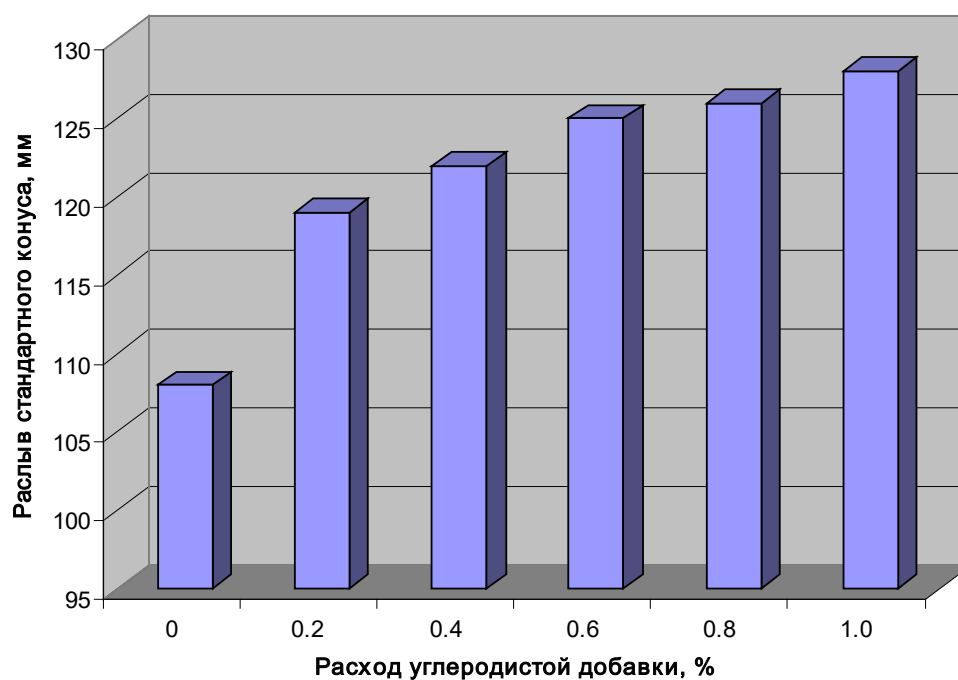


Рис. 1. Влияние расхода углеродистых сажевых отходов на изменение подвижности цементно-песчаного раствора

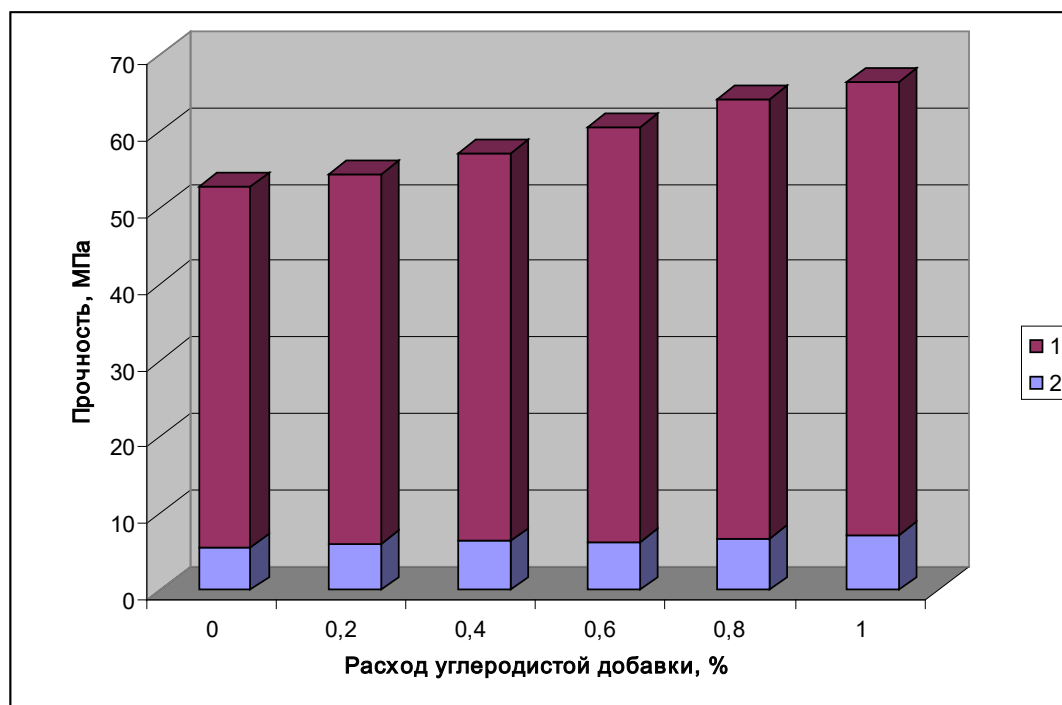


Рис. 2. Влияние расхода углеродистых сажевых отходов на изменение механических характеристик мелкозернистого бетона: 1 – прочность на сжатие; 2 – прочность на изгиб

В результате анализа полученных экспериментальных данных установлено, что распływ стандартного конуса (подвижность) растворной смеси при использовании сажи в количестве до 1 % от массы портландцемента увеличился на 18,5 %, прочность на сжатие возросла на 25,6 %, а прочность на изгиб – на 26,8 % по отношению к составу 1 без добавок (см. табл. 1).

Введение в сухую смесь углеродного порошка из сажевых отходов и проведения электромагнитной активации смеси, как и ожидалось, способствовало при затворении водой улучшению реакционной способности коллоидного раствора, повышению его пластичности без увеличения водоцементного отношения [10,11].

Таким образом, применение сажевых углеродистых промышленных отходов модифицировало микроструктуру цементно-песчаной смеси и мелкозернистого бетона на ее основе.

Задачей дальнейших исследований являлось определение влияния комплексного введения сажевых отходов и суперпластификатора на подвижность раствора и прочность мелкозернистого бетона.

Для проведения испытаний стандартных образцов размером 40x40x160 мм использовали цементно-песчаную смесь состава Ц:П=1:3. В качестве вяжущего использовался портландцемент ЗАО «Осколцемент» марки ЦЕМ I 42,5 Н. Мелкий заполнитель представлен кварцевым песком с модулем крупности 1,97. В сухую смесь дополнительно вводились сажевые отходы совместно с суперпластификатором «Полипласт СП-3» в соотношении 1:1. Приготовление сухой цементно-песчаной смеси осуществлялось в соответствии с режимом и техническими характеристиками, указанными выше. Добавки вводились в различном процентном отношении от массы цемента. Результаты проведенных исследований мелкозернистых бетонов, приготовленных из активированных сухих смесей, представлены в табл. 2, рис. 3 и 4.

Таблица 2

Комплексное влияние сажевых отходов, суперпластификатора и магнитной обработки сухой смеси на подвижность цементно-песчаных растворов и прочность мелкозернистых бетонов

№ состава	Расход сажевых отходов и суперпластификатора (1:1), % от массы цемента	Расплыв стандартного конуса, мм	Прочность мелкозернистого бетона, МПа	
			изгиб	сжатие
1	0	108	5,6	47,24
2	0.2	121	5,8	50,96
3	0.4	129	6,1	52,87
4	0.6	134	6,2	56,78
5	0.8	141	6,7	58,14
6	1.0	145	8,3	62,54
7	1,2	152	6,3	57,31
8	1,4	158	6,5	55,12

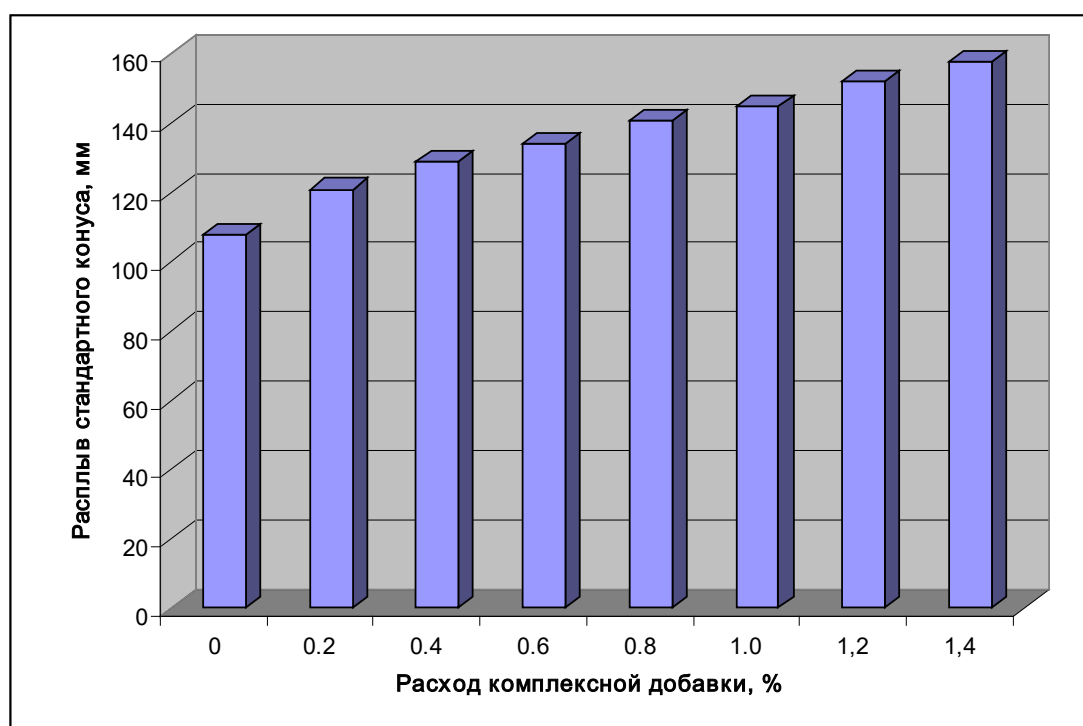


Рис. 3. Комплексное влияние расхода углеродистых сажевых отходов и суперпластификатора на изменение подвижности цементно-песчаного раствора

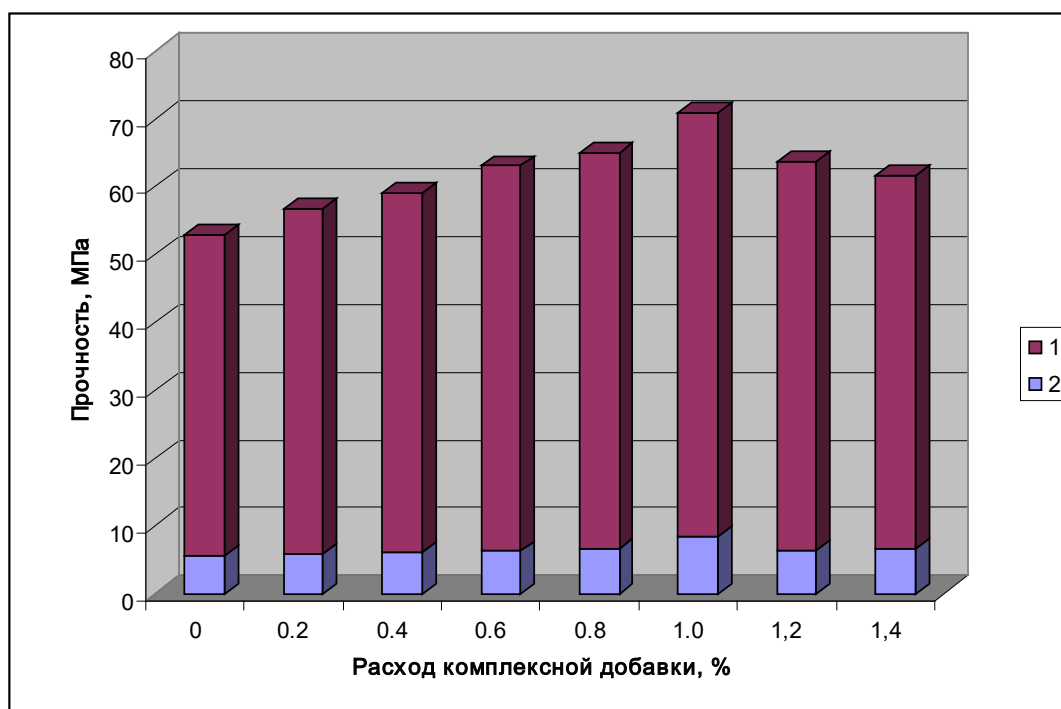


Рис. 4. Комплексное влияние расхода углеродистых сажевых отходов и суперпластификатора на изменение механических характеристик мелкозернистого бетона: 1 – прочность на сжатие; 2 – прочность на изгиб

Согласно полученным экспериментальным данным установлено, что комплексное введение в сухую смесь сажевых отходов и суперпластификатора «Полипласт СП-3» приводит к увеличению подвижности цементно-песчаного раствора.

Максимальное возрастание расплыва стандартного конуса получено у состава 8 (см. табл. 2), которое составило 46 % по отношению к составу 1 без добавок. При этом использование добавки сажи без суперпластификатора способствовало увеличению подвижности только на 18,5 % (см. табл. 1).

При комплексном расходе сажевых отходов и суперпластификатора, составляющем 1,0 % от массы цемента в соотношении (1:1), установлено наибольшее увеличение прочности на сжатие (32,3 %) и прочности на изгиб (48,2 %). Дальнейшее повышение дозировки комплексной добавки приводит

к снижению прочностных характеристик, что может быть обусловлено некоторым водоотделением и расслаиваемостью раствора.

Таким образом, введение в сухую смесь сажевых отходов с частичной заменой дорогостоящего суперпластификатора и последующей электромагнитной активации способствовало увеличению пластичности растворной смеси и формированию однородной, плотной и прочной структуры затвердевшего мелкозернистого бетона.

Литература

1. Мешков П.И., Мокин В.А. Способ оптимизации составов сухих строительных смесей // Строительные материалы. - 2000. - № 5. – С. 12-14.
2. Коровяков В.Ф. Модифицированные сухие строительные смеси – один из факторов повышения качества отделочных и других строительных работ / Информационный научно-технический журнал «Сухие строительные смеси». Москва: МГСУ, 2007. № 2, С. 20 –21.
3. Усов Б.А. Технология сухих строительных смесей – многоступенчатая безводная активация компонентов при их производстве / Информационный научно-технический журнал «Сухие строительные смеси». Москва: МГСУ, 2007. № 2, С. 48-51.
4. Борисов, А.А. О возможности использования дисперсных техногенных отходов в мелкозернистых бетонах // Строительные материалы. 2004. №8. С. 39-39.
5. Coppola Luigi, Denny Coffetti, Elena Crotti, T. Pastore. The Durability of One-Part Alkali-Activated Slag-Based Mortars in Different Environments. Sustainability, 2020, vol. 12, no 9, pp 35-61. doi:10.3390/su12093561.
6. Саидов Д.Х., Умаров У.Х. Влияние минерально-химических добавок на коррозионностойкость цементных бетонов с применением промышленных отходов // Инженерный вестник Дона. 2013. №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1634.

7. Shukai Cheng, Keyu Ge, Tao Sun, Zhonghe Shui. Pozzolanic activity of mechanochemically and thermally activated kaolins in cement. *Construction and Building Materials*, 2021, vol. 299, no 6. doi:10.1016/j.conbuildmat.2021.123972.
8. Ибрагимов Р.А., Королев Е.В., Каюмов Р.А., Дебердеев Т.Р., Лексин В.В., Спринце А. Эффективность активации минеральных вяжущих в аппаратах вихревого слоя. *Инженерно-строительный журнал*, 2018. № 6(82), С. 191–198.
9. Пименов С.И., Ибрагимов Р.А. Влияние механической активации цементной суспензии на физико-технические свойства цементных композиций // *Фундаментальные основы строительного материаловедения. Сборник докладов Международного онлайн-конгресса. Белгородский государственный технологический университет. Белгород: 2017. С. 797-805.*
10. Хохряков О.В. Композиционные цементы низкой водопотребности. Возможности и перспективы применения в строительных материалах. *Строительные материалы*, 2022, № 1–2, С. 123–133.
URL: doi.org/10.31659/0585-430X-2022-799-1-2-123-133.
11. Пустовгар, А.П., Перфилов В.А., Ляшенко Д.А. Активированная сухая смесь для приготовления растворов и мелкозернистых бетонов. *Инженерный вестник Дона*, 2023, № 12. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2023/8874.

References

1. Meshkov P.I., Mokin V.A. *Stroitel'nye materialy*. 2000. № 5. pp. 12-14.
2. Korovyakov V.F. *Informacionnyj nauchno-tehnicheskij zhurnal «Sukhie stroitel'nye smesi»*. Moskva: MGSU, 2007. № 2, pp. 20 –21.
3. Usov B.A. *Informacionnyj nauchno-tehnicheskij zhurnal «Sukhie stroitel'nye smesi»*. Moskva: MGSU, 2007. № 2, pp. 48-51.
4. Borisov, A.A. *Stroitel'nye materialy*. 2004. №8. pp. 39-39.

5. Coppola Luigi, Denny Coffetti, Elena Crotti, T. Pastore. The Durability of One-Part Alkali-Activated Slag-Based Mortars in Different Environments. Sustainability, 2020, vol. 12, no 9, pp. 35-61. doi:10.3390/su12093561.
6. Saidov D.KH., Umarov U.KH. Inzhenernyj vestnik Dona. 2013. №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1634.
7. Shukai Cheng, Keyu Ge, Tao Sun, Zhonghe Shui. Construction and Building Materials, 2021, vol. 299, no 6. doi:10.1016/j.conbuildmat.2021.123972.
8. Ibragimov R.A., Korolev E.V., Kayumov R.A., Deberdeev T.R., Leksin V.V., Sprince A. Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal, 2018. № 6(82), pp. 191–198.
9. Pimenov S.I., Ibragimov R.A. Fundamental'nye osnovy stroitel'nogo materialovedeniya. Sbornik dokladov Mezhdunarodnogo onlajn-kongressa. Belgorodskij gosudar-stvennyj tekhnologicheskij universitet. Belgorod: 2017. pp. 797-805.
10. Khokhryakov O.V. Stroitel'nye materialy, 2022, № 1–2, pp. 123–133. URL: doi.org/10.31659/0585-430X-2022-799-1-2-123-133.
11. Pustovgar, A.P., Perfilov V.A., Lyashenko D.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2023, № 12. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2023/8874.

Дата поступления: 11.10.2025

Дата публикации: 27.11.2025