

УДК 691.54

**В. В. Лупиногин, Т. К. Акчурин, О. В. Душко, В. Г. Поляков, В. И. Карпузов**

*Волгоградский государственный технический университет*

## **ПРИМЕНЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЦЕМЕНТНО-ПЕСЧАНЫХ СМЕСЕЙ И АНАЛИЗ ИХ ЭКОЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК**

Рассмотрены новые виды добавок и их технологические характеристики. Приведено описание различных составов смесей. Показано влияние соотношения компонентов смесей на технологические свойства дисперсного состава пыли методом лазерной дифракции. Исследования проводились с помощью анализатора размера частиц Microtrac S3500.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** цемент, песок, добавки, смесь, пыль, пеногаситель, пластификатор, размер частиц.

В настоящее время для получения сухих цементных смесей необходимо использовать различного рода добавки, регулирующие пластические свойства, повышающие водоудерживающую способность и регулирующие сроки схватывания, а также обеспечивающие жизнеспособность растворных смесей в процессе работ [1—3].

Технологические операции при производстве сухих смесей включают в себя пересыпку, фасовку и упаковку, учитывая технологические переделы<sup>1</sup> [4, 5].

Нами оценивались склады различных производителей. Обследовались склады, расположенные в Московской области. Экспериментальные исследования проведены в теплое время года (июль 2018 г.) при следующих условиях: ветер — северо-восточный со средней скоростью 2 м/с, средняя относительная влажность 35 %, атмосферное давление 747 мм рт. ст., средняя температура воздуха +26 °С; нормативы хранения<sup>2</sup>. Пробы пыли отбирались в воздушной среде складов на высоте 1, 2, 3, 6 и 9 м.

При оценке склада как источника воздействия на атмосферный воздух в соответствии с методиками<sup>3</sup> [6, 7] отобраны пробы пыли, содержащейся в воздушной среде складских помещений. При этом рассматривались следующие варианты:

вариант 1 — закрытый склад с зенитным фонарем для хранения цемента без проведения технологических операций;

вариант 2 — закрытый склад с зенитным фонарем для хранения гипса без проведения технологических операций;

<sup>1</sup> Способ получения сухих функциональных смесей / А. Т. Васюкова, А. В. Мошкин, В. Ф. Пучкова, Г. П. Кирьянова, С. И. Охотников, Т. В. Кабанова. Патент на изобретение № 2602629, заявка № 2015127326, приоритет 07.07.2015, зарегистрировано 26.10.2016.

<sup>2</sup> Особенности хранения стройматериалов и утеплителя на складах: портал о строительстве и оборудовании складов. URL: <https://skladovoy.ru/osobennosti-xranenie-strojmaterialov-i-uteplitelya-na-skladax.html>.

<sup>3</sup> ГОСТ Р 56929—2016. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Исследование фракционного состава пыли оптическим методом при нормировании качества атмосферного воздуха. М. : Стандартинформ, 2019. 16 с.

вариант 3 — закрытый склад для хранения цемента с проведением технологических операций (при наличии дефлекторов).

Результаты исследований дисперсного состава пыли [8, 9], содержащейся в воздушной среде склада, соответствующего варианту 1, приведены в виде микрофотографий частиц пыли цемента (рис. 1), дифференциальных (рис. 2) и интегральных (рис. 3) функций прохода, а также в табл. 1.

Как следует из представленных данных, в воздушной среде склада, соответствующего варианту 1, на высоте 1 м содержатся частицы с размерами от 10 до 100 мкм, на высоте 2 м — от 4,5 до 60 мкм, на высоте 3 м — от 3 до 31 мкм, на высоте 6 м — от 2 до 20 мкм, на высоте 9 м — от 1,8 до 16 мкм.

Значения медианного диаметра составляют: на высоте 1 м — 78 мкм, на высоте 2 м — 44 мкм, на высоте 3 м — 26 мкм, на высоте 6 м — 13 мкм, на высоте 9 м — 11 мкм.

Содержание в пыли PM10 составляет менее 0,01 % на высоте 1 м, 0,5 % — на высоте 2 м, 2 % — на высоте 3 м, 12 % — на высоте 6 м, 40 % — на высоте 9 м. Частицы фракции PM2.5 наблюдались только на высоте 6 м (0,04 %) и 9 м (0,25 %). Таким образом, более мелкая пыль витает на высоте от 6 до 9 м, следовательно, с большей вероятностью она попадет с выбросами в окружающую среду.

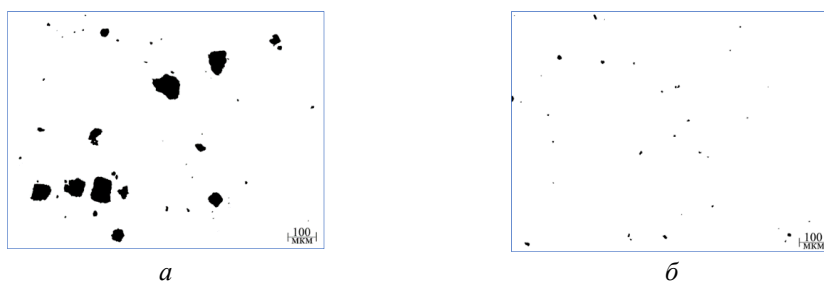


Рис. 1. Микрофотографии частиц пыли цемента, отобранной в воздушной среде склада, соответствующего варианту 1, на высоте: *a* — 1 м; *б* — 9 м

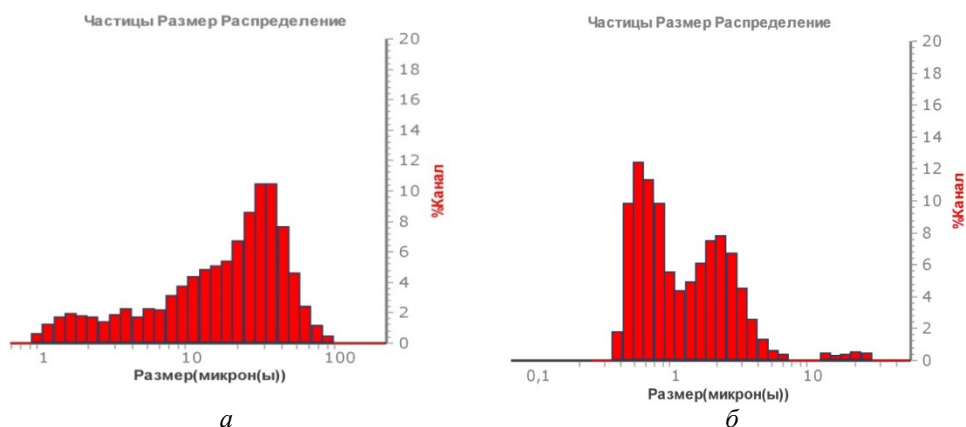


Рис. 2. Дифференциальные функции распределения массы по диаметрам для частиц пыли цемента, отобранной в воздушной среде склада, соответствующего варианту 1, на высоте: *a* — 1 м; *б* — 6 м

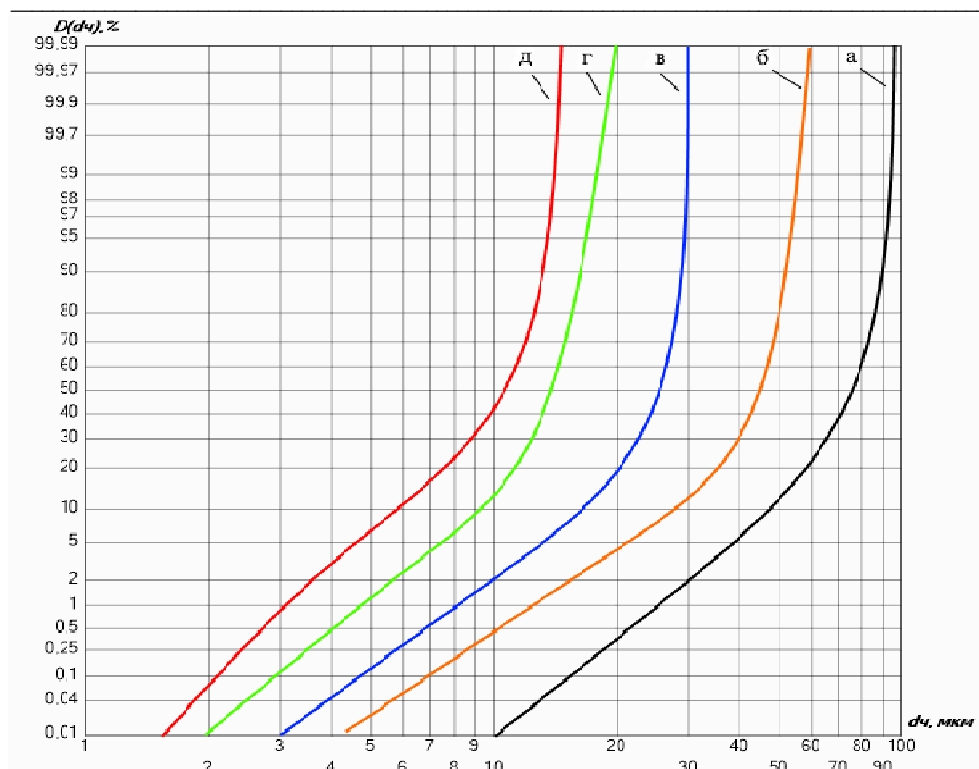


Рис. 3. Интегральные функции распределения массы по диаметрам для частиц пыли цемента, отобранной в воздушной среде склада, соответствующего варианту 1, на высоте: а — 1 м; б — 2 м; в — 3 м; з — 6 м; д — 9 м

В таблице 1 представлены данные о размерах частиц пыли цемента в воздушной среде закрытого склада (вариант 1) на разной высоте, рассчитанные с помощью программного обеспечения ImageJ.

Таблица 1

Результаты исследования дисперсного состава частиц пыли на складе (вариант 1)

Зона	Высота, м				
	1	2	3	6	9
	Диапазон изменения эквивалентных диаметров частиц пыли, мкм				
Нижняя зона	10...100	4,5...60	3...31	—	—
Верхняя зона	—	—	—	2...20	1,8...16

Результаты исследований дисперсного состава пыли, содержащейся в воздушной среде склада, соответствующего варианту 2, приведены в виде микрофотографий частиц пыли гипса (рис. 4), дифференциальных (рис. 5) и интегральных (рис. 6) функций прохода, а также в табл. 2.

Как следует из представленных данных, в воздушной среде склада, соответствующего варианту 2, на высоте 1 м содержатся частицы с размерами от 1,5 до 79 мкм, на высоте 2 м — от 0,5 до 61 мкм, на высоте 3 м — от 0,5 до 52 мкм, на высоте 6 м — от 0,5 до 18 мкм, на высоте 9 м — от 0,3 до 13 мкм.

Значения медианного диаметра составляют: на высоте 1 м — 35 мкм, на высоте 2 м — 38 мкм, на высоте 3 м — 27 мкм, на высоте 6 м — 12 мкм, на высоте 9 м — 9 мкм.

Содержание в пыли PM10 составляет менее 2 % на высоте 1 м, 5 % — на высоте 2 м, 5,2 % — на высоте 3 м, 31 % — на высоте 6 м, 70 % — на высоте 9 м. Частицы фракции PM2.5 составляют 0,07 % на высоте 1 м, 0,18 % — на высоте 2 м, 0,17 % — на высоте 3 м, 0,5 % — на высоте 6 м, 0,75 % — на высоте 9 м.

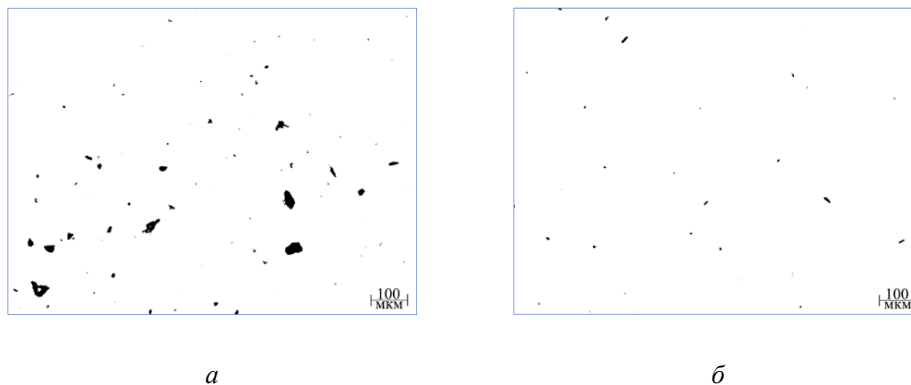


Рис. 4. Микрофотографии частиц пыли гипса, отобранной в воздушной среде склада, соответствующего варианту 2, на высоте: *a* — 1 м; *б* — 9 м

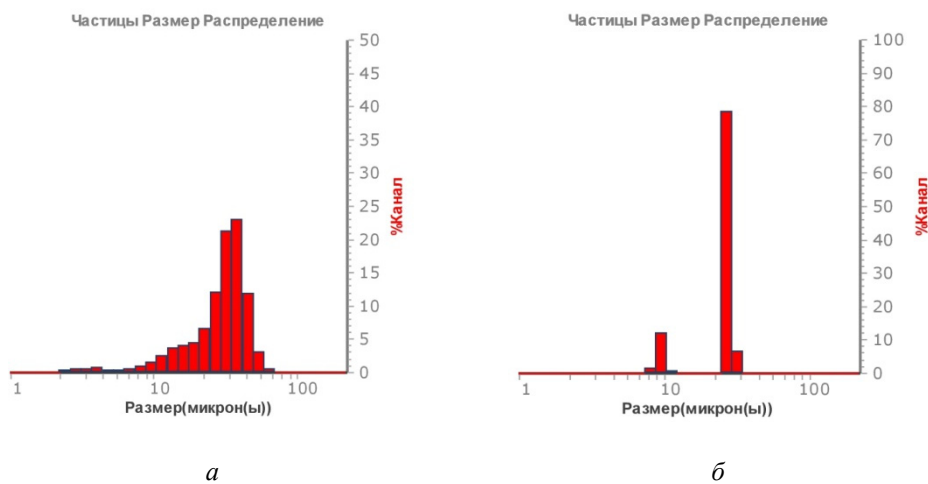


Рис. 5. Дифференциальные функции распределения массы по диаметрам для частиц пыли гипса, отобранной в воздушной среде склада, соответствующего варианту 2, на высоте: *a* — 1 м; *б* — 6 м

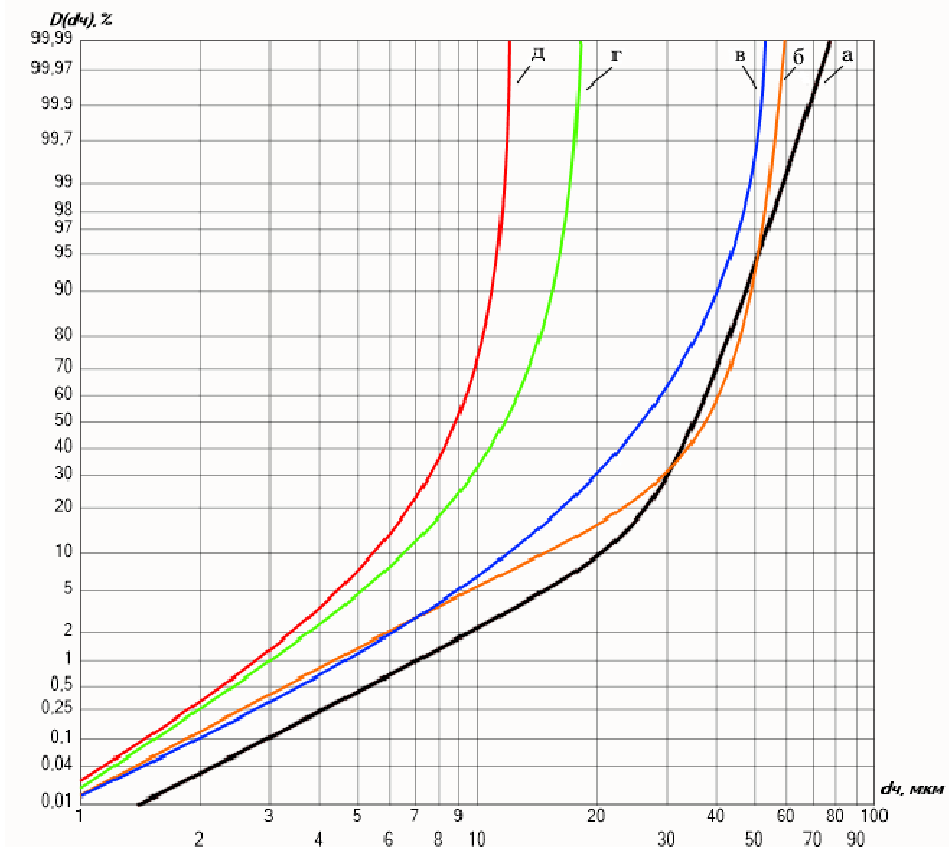


Рис. 6. Интегральные функции распределения массы по диаметрам для частиц пыли гипса, отобранной в воздушной среде склада, соответствующего варианту 2, на высоте: а — 1 м; б — 2 м; в — 3 м; г — 6 м; д — 9 м

В таблице 2 представлены данные о размерах частиц пыли гипса в воздушной среде закрытого склада (вариант 2) на разной высоте, рассчитанные с помощью программного обеспечения ImageJ.

Таблица 2

Результаты исследования дисперсного состава частиц пыли на складе (вариант 2)

Зона	Высота, м				
	1	2	3	6	9
Диапазон изменения эквивалентных диаметров частиц пыли, мкм					
Нижняя зона	1,5...79	0,5...61	0,5...52	—	—
Верхняя зона	—	—	—	0,5...18	0,3...13

Результаты исследований дисперсного состава пыли, содержащейся в воздушной среде склада, соответствующего варианту 3, приведены в виде микрофотографий частиц пыли цемента (рис. 7), дифференциальных (рис. 8) и интегральных (рис. 9) функций прохода, а также в табл. 3.

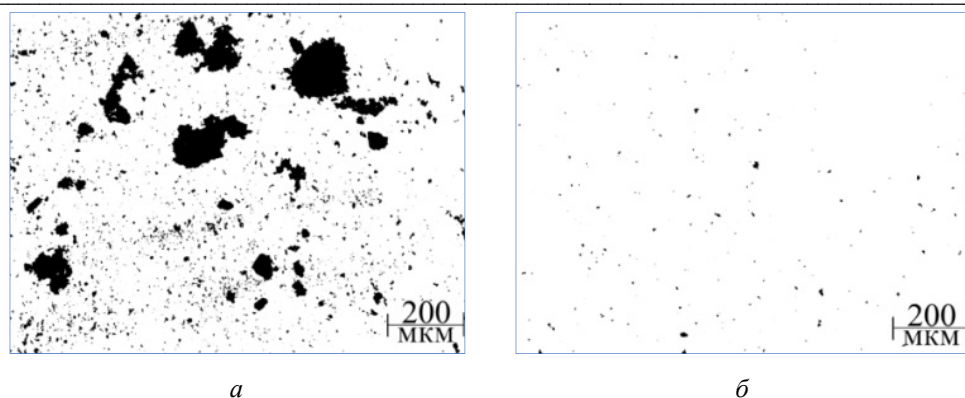


Рис. 7. Микрофотографии частиц пыли цемента, отобранной в воздушной среде склада, соответствующего варианту 3, на высоте: *a* — 1 м; *б* — 9 м

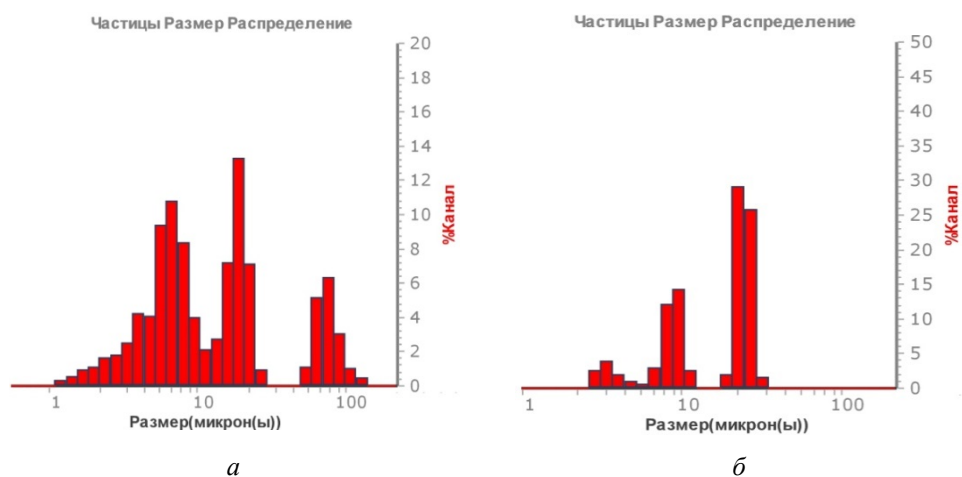


Рис. 8. Дифференциальные функции распределения массы по диаметрам для частиц пыли цемента, отобранной в воздушной среде склада, соответствующего варианту 3, на высоте: *a* — 1 м; *б* — 6 м

В таблице 3 представлены данные о размерах частиц пыли цемента в воздушной среде закрытого склада (вариант 3) на разной высоте, рассчитанные с помощью программного обеспечения ImageJ.

Все полученные данные подтверждают вывод о том, внутри склада формируются зоны с разной концентрацией пыли:

- 1) нижняя зона — пространство высотой от 1 до 3 м над уровнем пола;
- 2) верхняя зона — пространство высотой от 6 до 9 м над уровнем пола.

Внутри склада формируются помимо зоны проведения технологических операций по высоте складских помещений также две зоны — нижняя и верхняя, отличающиеся разным содержанием мелкодисперсных частиц в воздушной среде при небольшой разнице значений общей концентрации пыли.

По результатам изучения дисперсного состава пыли строительных материалов и его изменения по высоте складских помещений установлено, что размеры частиц в нижней зоне, т. е. на уровне 0...3 м, в 1,5...2 раза больше размеров частиц в верхней зоне.

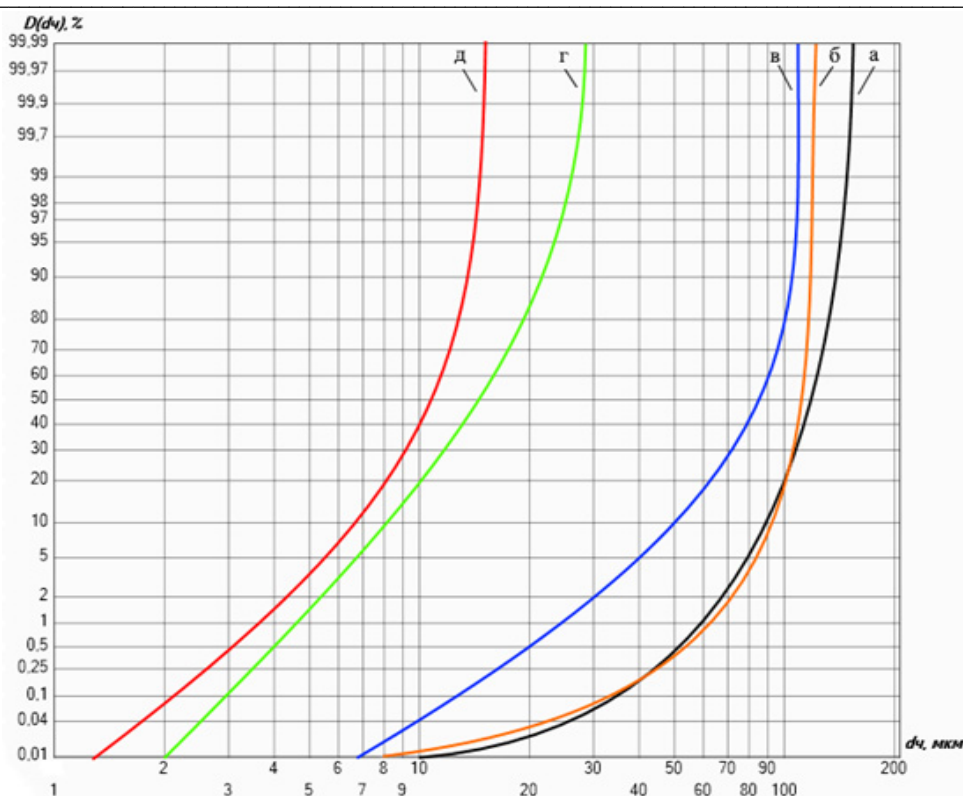


Рис. 9. Интегральные функции распределения массы по диаметрам для частиц пыли цемента, отобранной в воздушной среде склада, соответствующего варианту 3, на высоте: а — 1 м; б — 2 м; в — 3 м; г — 6 м; д — 9 м

Таблица 3

Результаты исследования дисперсного состава частиц пыли на складе (вариант 3)

Зона	Высота, м				
	1	2	3	6	9
Диапазон изменения эквивалентных диаметров частиц пыли, мкм					
Зона технологических операций	10...150	8...120	7...110	2...30	1,5...16
Нижняя зона	1...120	—	—	—	—
Верхняя зона	—	—	—	2,5...30	—

Как следует из представленных данных, в воздушной среде склада, соответствующего варианту 3, на высоте 1 м содержатся частицы с размерами от 10 до 150 мкм, на высоте 2 м — от 8 до 120 мкм, на высоте 3 м — от 7 до 110 мкм, на высоте 6 м — от 2 до 30 мкм, на высоте 9 м — от 1,5 до 16 мкм.

Значения медианного диаметра составляют: на высоте 1 м — 115 мкм, на высоте 2 м — 110 мкм, на высоте 3 м — 85 мкм, на высоте 6 м — 15 мкм, на высоте 9 м — 11 мкм.

Содержание в пыли PM10 составляет менее 0,01 % на высоте 1 м, 0,015 % — на высоте 2 м, 0,04 % — на высоте 3 м, 20 % — на высоте 6 м, 40 % — на высоте 9 м. Частицы фракции PM2.5 наблюдались только на высоте 6 м (0,04 %) и 9 м (0,21 %).

В составе штукатурных смесей для фасадов зданий также присутствуют порошкообразные наполнители, которые позволяют уменьшить расход вяжущего вещества. Для получения однородных сухих смесей [10, 11] с достаточно плотной упаковкой в состав вводят тонкодисперсные карбонатные наполнители. Тонкодисперсный наполнитель заполняет полости между кристаллами цемента и наполнителя, увеличивая прочность контактов между ними, повышая плотность и, как следствие, прочность и долговечность штукатурок. Степень наполнения и удельная поверхность карбонатных наполнителей оказывают влияние на водопотребность смесей.

В данной работе исследованы строительные смеси, основы которых составляют портландцемент марки 500 Д20, просеянный песок (размер фракции от 0 до 0,316 мм), вода. В качестве добавок в состав цементной смеси вводили пеногаситель (0,1 % смеси) Aktiflux 100, пластификатор (1 % смеси) Aktiflux 020, активатор отверждения (5,5 % от вяжущего-цемента).

Цементные пеногасители представляют собой специальные компоненты, которые применяются для устранения избыточного образования пены. Они обеспечивают эффективное регулирование объема образующейся пены и гарантируют оптимальные свойства цементного раствора.

Для изготовления образцов использовались портландцемент марки М500 Д20, карьерный песок, проточная вода, пеногаситель Aktiflux 100, пластификатор Aktiflux 020, активатор отверждения.

Состав смесей и их подвижность приведены в табл. 4.

Таблица 4

*Состав образцов исследованных строительных смесей и их подвижность*

Номер пробы	Добавки	Цемент, г	Песок, г	Вода, мл	Распływ, мм
1	Контрольный образец (без добавок)	500	1500	220	110
2	Пеногаситель (2 г)	500	1500	200	117
2.1	Пеногаситель (2 г)	500	1500	220	106
3	Пластификатор (200 г)	500	1500	270	165
3.1	Пластификатор (20 г)	500	1500	230	136
4	Активатор отверждения (27,5 г)	500	1500	250	106
5	Пеногаситель (2 г) + пластификатор (20 г)	500	1500	200	106
6	Пеногаситель (2 г) + пластификатор (20 г) + активатор отверждения (27,5 г)	500	1500	210	106

Уплотнение растворов смесей составляло 3 мин. Образцы после воздушно-влажного хранения в течении 24 ч выдерживались в воде в горизонтальном положении 27 сут при температуре 20 °С. Результаты, полученные после проведения испытаний, представлены в табл. 5, 6.



Т а б л и ц а 5

*Результаты испытаний прочности на изгиб*

№ пробы	Прочность на изгиб, МПа			Среднее значение, МПа
1	5,34	5,54	5,11	5,33
2	<i>рассыпался в воде</i>			
2.1	4,54	3,96	4,64	4,38
3	<i>рассыпался в воде</i>			
3.1	4,75	3,85	5,03	4,54
4	5,44	5,11	5,5	5,35
5	4,25	3,85	3,88	3,99
6	4,03	5,44	3,95	4,47

Т а б л и ц а 6

*Результаты испытаний прочности на сжатие*

№ пробы	Прочность на сжатие, МПа						Среднее значение, МПа
1	11,96	11,8	14,08	14,52	14	12,44	13,13
2	<i>рассыпался в воде</i>						
2.1	24,2	20,8	23,6	25,3	26,76	23,56	24,04
3	<i>рассыпался в воде</i>						
3.1	25,4	26,48	24,96	23,96	23,76	24,08	24,8
4	20,52	21,48	21,48	21,68	23,68	20,88	21,84
5	15,44	14,36	28,64	18,2	20,96	20	19,6
6	19,84	27,4	28,32	15,44	15,44	15,44	20,3

Снимки исследуемых образцов приведены на рис. 10.

Влияние добавок на цементно-песчаную смесь зависит от их концентрации и соотношения друг с другом. Некорректное использование или передозировка добавок неизбежно приводят к нежелательным эффектам, таким как снижение прочности или деформация смеси.

Влияние добавок на цементно-песчаную смесь эффективно, если они применены с учетом конкретных требований проекта. Однако необходимо учитывать, что влияние каждой добавки может быть различным в зависимости от конкретных условий и характеристик смеси.

Пластификаторы улучшают работоспособность и текучесть цементно-песчаной смеси, позволяя улучшать технологические характеристики. Они также могут увеличить как прочность, так и устойчивость к разрушению смеси. Активаторы отверждения ускоряют процесс отверждения цементно-песчаной смеси. Пеногасители используются для создания пористой структуры в цементно-песчаной смеси, что улучшает ее теплоизоляционные свойства, кроме того, уменьшают плотность смеси, а это приводит в целом к улучшению основных физико-технических показателей исследуемых смесей.

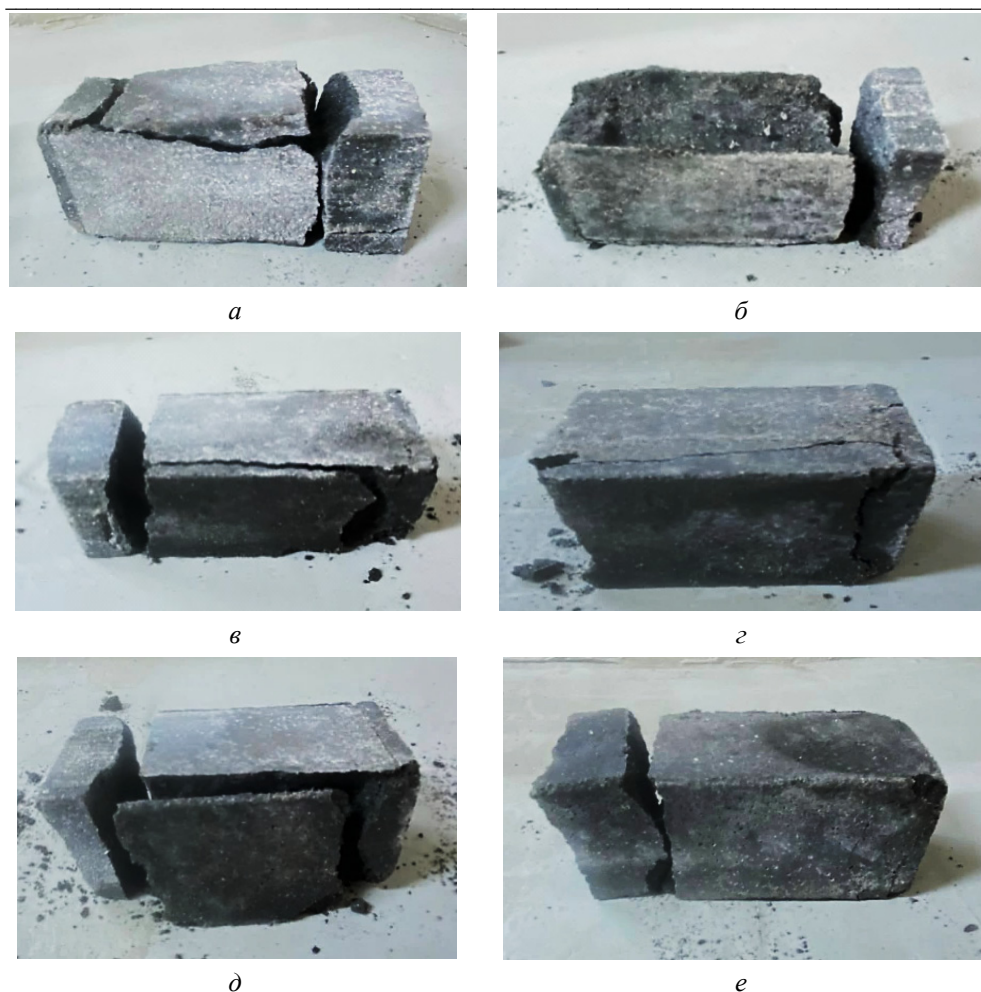


Рис. 10. Иллюстрации исследуемых образцов: *а* — без добавок; *б* — с добавлением пеногасителя; *в* — с пластификатором; *г* — с активатором отверждения; *д* — с пеногасителем и пластификатором; *е* — с пеногасителем, пластификатором, активатором отверждения

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бурханова Р. А., Акчурин Т. К., Стефаненко И. В., Бураченко О. В. Разработка экспериментального метода определения термостойкости жаростойких бетонов // Известия ВолгГТУ. Серия: Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении. 2024. № 6(289). С. 53—56.
2. Акчурин Т. К., Савченко А. В., Губаревич Г. П. Исследование влияния различных добавок на прочностные свойства строительных материалов на основе магниезальных вяжущих // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 1(90). С. 129—136.
3. Исследование физико-механических свойств цементных систем, модифицированных биодобавками / М. А. Гончарова, Т. К. Акчурин, В. В. Дергунова, А. Г. Заева, П. В. Монастырев, Е. С. Дергунова // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 3/4(92). С. 116—125.
4. Дергунов С., Орехов С. Сухие строительные смеси (состав, технология, свойства). Оренбург : БИБКОМ, 2012. 130 с.

5. Логанина В. И., Куимова Е. И., Зайцева М. В. Оценка достоверности контроля производства сухих строительных смесей // Региональная архитектура и строительство. 2021. № 1. С. 54—62.
6. Лясин Р. А., Лупиногин В. В., Евтушенко А. И., Лукьяница С. В. Об определении дисперсного состава цементной пыли седиментационным методом при пофракционном оседании частиц с использованием средств обработки бинарных фотографий // Инженерный вестник Дона. 2022. №5. URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n5y2022/7666>.
7. Strelyaeva A. B., Kalyuzhina E. K., Lupinogin V. V., Alkneume M. Kh. A. Investigation of fine dust pollution during hard and soft works in warehouse complexes // IOP Conf. Series : Materials Science and Engineering. Construction and Architecture: Theory and Practice for the innovation Development. 2019. Vol. 698. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/698/2/022035>.
8. Азаров В. Н., Юркъян В. Ю., Сергина Н. М., Ковалева А. В. Методика микроскопического анализа дисперсионного состава пыли с применением персонального компьютера (ПК) // Законодательная и прикладная метрология. 2004. № 1. С. 46—48.
9. Методика микроскопического анализа дисперсного состава пыли : инф. лист № 51-120-03 / В. Н. Азаров, Н. М. Сергина, В. Ю. Юркъян ; ООО «Волгоградэкотехзерно». Волгоград: ЦНТИ, 2003. 3 с.
10. Калашиников Р. В., Акчурин Т. К. Сухие строительные смеси на основе гипсоцементно-попуццоланового вяжущего // Надежность и долговечность строительных материалов и конструкций : материалы III Междунар. науч.-техн. конф. (27—29 марта 2003 г.) : [в 4 ч.]. Волгоград, 2003. Ч. III. С. 61—62.
11. Акчурин Т. К., Вовко В. В. Сухие строительные смеси на основе термомодифицированных кремнистых пород // Актуальные вопросы строительства. Вторые Соломатовские чтения : материалы всерос. науч.-техн. конф. Саранск, 2003. С. 65—66.

© Лупиногин В. В., Акчурин Т. К., Душко О. В., Поляков В. Г., Карапузов В. И., 2024

Поступила в редакцию  
в августе 2024 г.

Ссылка для цитирования:

Применение модифицированных цементно-песчаных смесей и анализ их эколого-технологических характеристик / В. В. Лупиногин, Т. К. Акчурин, О. В. Душко, В. Г. Поляков, В. И. Карапузов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2024. Вып. 3(96). С. 43—54. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_3\_43.

Об авторах:

**Лупиногин Владислав Владимирович** — канд. техн. наук, преподаватель каф. строительных материалов и специальных технологий, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

**Акчурин Талгать Кадимович** — советник РААСН, канд. техн. наук, проф., проф. каф. строительных материалов и специальных технологий, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; Scopus ID: 57190967539; [info@vgasu.ru](mailto:info@vgasu.ru)

**Душко Олег Викторович** — д-р техн. наук, доц., зав. каф. строительной механики, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; ORCID: 0000-0002-3982-1899; [ovd28@mail.ru](mailto:ovd28@mail.ru)

**Поляков Владимир Геннадиевич** — д-р экон. наук, проф., зав. каф. городского строительства, экономики и управления проектами, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; [polyakovvg@vgasu.ru](mailto:polyakovvg@vgasu.ru)

**Карапузов Владислав Игоревич** — студент, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; [vladislovekrpz@yandex.ru](mailto:vladislovekrpz@yandex.ru)

---

**Vladislav V. Lupinogin, Talgat K. Akchurin, Oleg V. Dushko, Vladimir G. Polyakov,  
Vladislav I. Karapuzov**

*Volgograd State Technical University*

## **APPLICATION OF MODIFIED CEMENT-SAND MIXTURES AND ANALYSIS OF THEIR ECOLOGICAL AND TECHNOLOGICAL CHARACTERISTICS**

New types of additives and their technological characteristics are considered. A description of the various mixture compositions is given. The influence of the ratio of mixture components on the technological properties of the dispersed composition of dust using laser diffraction is shown. These studies were carried out using a Microtrac S3500 particle size analyzer.

**Key words:** cement, sand, additives, mixture, dust, defoamer, plasticizer, particle size.

*For citation:*

Lupinogin V. V., Akchurin T. K., Dushko O. V., Polyakov V. G., Karapuzov V. I. [Application of modified cement-sand mixtures and analysis of their ecological and technological characteristics]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2024, iss. 3, pp. 43—54. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_3\_43.

*About authors:*

**Vladislav V. Lupinogin** — Candidate of Engineering Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

**Talgat K. Akchurin** — Candidate of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; Scopus ID: 57190967539; info@vgasu.ru

**Oleg V. Dushko** — Doctor of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-3982-1899; ovd28@mail.ru

**Vladimir G. Polyakov** — Doctor of Economics, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; polyakovvg@vgasu.ru

**Vladislav I. Karapuzov** — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; vladislovekrpz@yandex.ru