

## Повышение физико-механических характеристик бетонных изделий путём оптимизации фракционного состава песка

*В.А. Яханов, А.П. Далецкий, С.Ю. Аминев*

*Уфимский государственный нефтяной технический университет*

**Аннотация:** В данной статье представлен способ улучшения физико-механических характеристик бетонных изделий путём подбора рационального гранулометрического состава песка, а также рассмотрена проблема недостаточного количества песка с необходимым модулем крупности на карьерах.

**Ключевые слова:** тротуарная плитка, двухслойные изделия, модуль крупности песка, эксплуатационные характеристики, оптимизация состава, модификация структуры.

Минерально-сырьевая база строительных полезных ископаемых является основополагающей строительной отрасли Республики Башкортостан. Пески, наряду с щебнем, получают из отходов обогащения и промышленных источников. Очень мелкие пески рекомендуется применять лишь для строительных растворов. С повышением значения  $M_{kp}$ , как правило, уменьшается водопотребность бетонных смесей и необходимый расход цемента. Чем мельче песок, тем труднее уплотнить бетонные смеси, приготовленные с его применением [1,2].

Распределение месторождений строительных полезных ископаемых по территории региона носит неравномерный характер, что связано с её уникальным геологическим строением. Для решения этих проблем и обеспечения непрерывного производства тротуарной плитки с заданными параметрами, на предприятии внедряют собственную многоступенчатую систему просеивания песка [3]. Эта система предусматривает прохождение исходного материала через несколько сит с различными размерами ячеек, что позволяет эффективно разделить его на мелкие, средние и крупные фракции, а также удалить нежелательные примеси, включая глину и крупные

включения. Благодаря такой последовательной сортировке, становится возможным точно регулировать гранулометрический состав песка и с высокой степенью контроля получать материал с необходимым модулем крупности, даже если поступающее сырье из карьера имеет нестабильные или несоответствующие характеристики [3].

На сегодняшний день перспективным направлением производства является двухслойная бетонная тротуарная плитка (рис. 1).



Рис.1. – Двухслойная тротуарная плитка

Основной слой, который является рабочим, обладает высокими физико-механическими свойствами, в то время как лицевой слой, предназначен для придания изделию эстетичного вида.

Для производства верхнего слоя тротуарной плитки важно получить песок фракции 0–5 мм высокой степени чистоты и однородности. Так как данный показатель обеспечивает плотное и равномерное заполнение формы плитки, что минимизирует пустоты и дефекты [4,5]. Это повышает

механическую прочность и защищает верхний слой от трещин и разрушений при нагрузках.

Определение характеристик песка осуществляется согласно ГОСТу 8735-88. В ходе исследования были взяты образцы песчано-гравийной смеси (ПГС) и проведены испытания песка в специализированной лаборатории до и после просеивания через сито с ячейками 5-8 мм, а также струнное сито грохота. Результаты определения зернового состава до просеивания приведены в таблице 1.

Таблица № 1

Результаты определения зернового состава до просеивания

Размеры сита, мм	Частные остатки, %	Полные остатки, %
40	2,83	2,83
30	0	0
25	1,17	4
20	3	10,37
15	3,33	13,5
12,5	3,17	17,83
10	4,33	17,83
7,5	6,5	24,33
5	9,5	33,83
2,5	11,7	45,53
1,25	9,5	55,03
0,63	11,17	66,2
0,315	26,5	92,7
0,16	6,5	99,2
Проход	0,8	100

Модуль крупности ( $M_{kp}$ ) составляет 3; что соответствует крупной группе песков.

Результаты определения зернового состава после просеивания через грохот с ячейками сита 5-8 мм приведены в таблице 2.

Таблица № 2

Результаты определения зернового состава после сита с ячейками 5-8 мм

Наименование остатков	Размеры сит, мм					
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	Проход через 0,16
Частные, %	9,70	14,60	23,30	46,00	5,70	0,7
Полные, %	9,70	24,30	47,60	93,60	99,3	100,0

Модуль крупности ( $M_{kp}$ ) составляет 2,75; что соответствует средней группе песков.

Результаты определения зернового состава после просеивания через грохот со струйным ситом приведены в таблице 3. Расстояния между струнами менее 7 мм.

Таблица № 3

Результаты определения зернового состава после струйного сита

Наименование остатков	Размеры сит, мм					
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	Проход через 0,16
Частные, %	1,50	7,40	22,90	59,60	7,90	0,7
Полные, %	1,50	8,90	31,80	91,40	99,3	100,0

Модуль крупности ( $M_{kp}$ ) составляет 2,33; что соответствует средней группе песков.

Для определения песка с оптимальной гранулометрией были проведены испытания на прочность для основного слоя (рис. 2), а также испытания на прочность и истираемость для облицовочного слоя (рис. 3).



Рис. 2. – Испытания на прочность



Рис. 3. – Испытания на истираемость

В таблице 4 представлены исходные данные испытываемых составов.

Таблица № 4

Исходные данные для проведения испытаний

Номер состава	Модуль крупности песка, мм
1	3,00
2	2,75
3	2,33

Ниже представлены результаты испытаний на прочность для основного слоя (таблица 5), а также результаты испытаний на прочность (таблица 6) и истираемость (таблица 7) для облицовочного слоя.

Таблица № 5

Результаты испытаний образцов основного слоя на прочность

Номер состава	Прочность на сжатие, МПа, в возрасте	
	7 суток	28 суток
1	43,1	46
2	42,8	45,5
3	42,2	44,8

Таблица № 6

Результаты испытаний образцов лицевого слоя на прочность

Номер состава	Прочность на сжатие, МПа, в возрасте	
	7 суток	28 суток
1	40,1	43,6
2	36,9	40,4
3	35,6	39,8

Таблица № 7

Результаты испытаний на истираемость лицевого слоя

Номер состава	Масса образца до испытания, г	Масса образца после четырёх циклов испытания, г	Площадь истираемой грани образца, см	Истираемость, г/см <sup>2</sup>
1	564	525	49,98	0,72
2	570	532	49,98	0,76
3	566	530	49,98	0,78

На рисунках 4-6 изображены зависимости физико-механических характеристик бетонной тротуарной плитки на песке с рассматриваемыми фракциями.

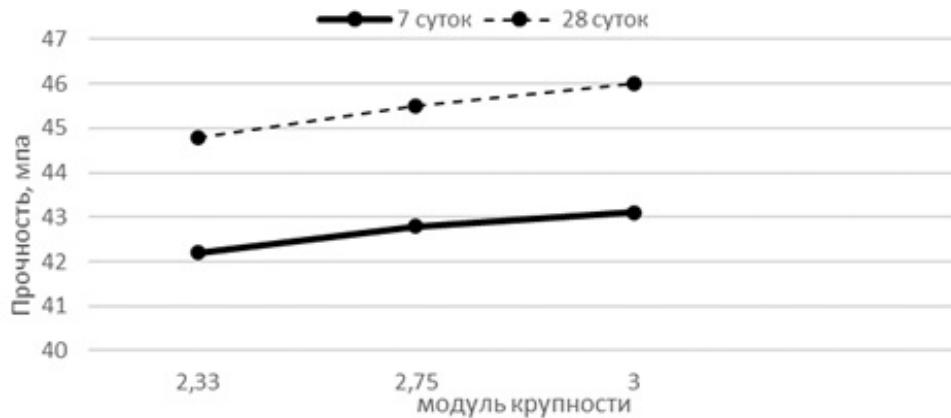


Рис. 4. – График зависимости прочности при сжатии базового слоя от модуля крупности

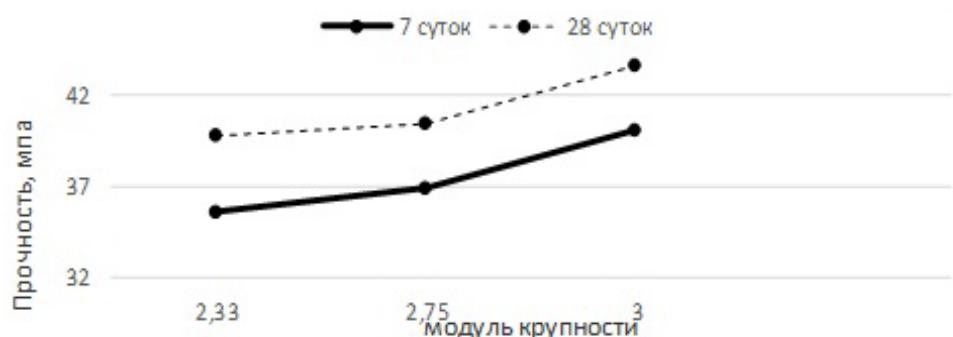


Рис. 5. – График зависимости прочности при сжатии лицевого слоя от модуля крупности

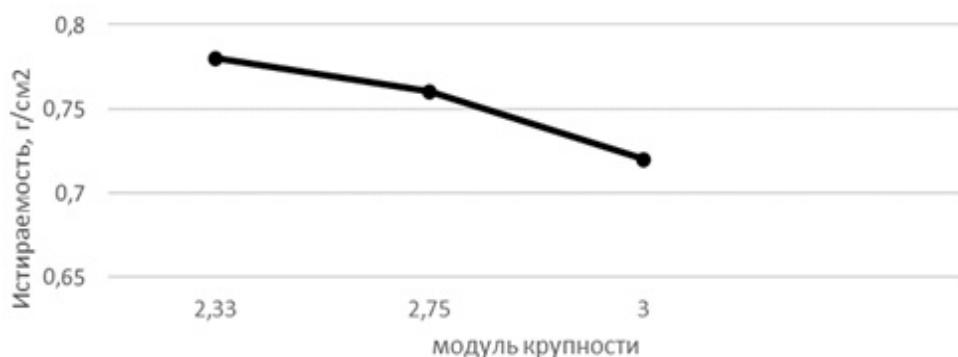


Рис.6 – График зависимости истираемости лицевого слоя от модуля крупности

Таким образом, песок с модулем крупности 3,0 является оптимальным для основного слоя, ввиду наиболее высокой прочности готового изделия. Для лицевого слоя песок с модулем крупности 3,0 также показывает лучшие показатели у готового изделия. Однако, в ходе испытаний было выявлено, что изделия с применением такого песка имеют грубую и шероховатую поверхность. В то время как, изделия с песком, модуль крупности которого составляет 2,33, обладают гладкой и однородной поверхностью, что является преимуществом, так как лицевой слой, в первую очередь, отвечает за эстетику [7,8]. Также следует отметить, что показатели прочности изделий с применением песка с меньшей фракцией соответствуют классу по прочности В30, которого вполне достаточно для тротуарной плитки [9].

В ходе исследования было определено, что процесс просеивания позволяет не только извлечь пригодные фракции из «неподходящего» сырья, но и повышает однородность и предсказуемость характеристик конечного продукта [10]. Данный процесс существенно снижает зависимость от удалённых карьеров и сокращает затраты при сохранении или улучшении качества конечной продукции. Успех внедрения зависит от правильного подбора схемы просеивания, сопутствующих операций подготовки и контроля качества, а также экономической оценки проекта.

## Литература

- 1 Успанова А.С., Исмаилова З.Х., Хадисов В.Х., Хаджиев М.Р. Строительные растворы на заполнителях из техногенных песков. Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2020. № 3(21). С. 75-85.
- 2 Шляхова Е. А., Холостова А. И. К вопросу повышения качества мелкозернистых бетонов на мелких песках. Инженерный вестник Дона, 2013, №. 4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2110
- 3 Вешнякова Л.А. Оптимизация гранулометрического состава смесей

для получения мелкозернистых бетонов/ Л.А. Вешнякова, А.М. Айзенштадт. Промышленное и гражданское даже строительство. 2012. №10. С. 19-22.

4 Прудков Е.Н. Оптимизация составов наномодифицированных мелкозернистых бетонов с повышенными эксплуатационными свойствами. Транспортное строительство. 2014. № 2. С. 22-25.

5 Алиев С. А., Успанова А. С., Муртазаева Т. С. Особенности формирования структуры декоративных бетонов на основе мелкозернистых смесей с оптимизированным составом заполнителей. Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2024. № 1(35). С. 58–67.

6 Ахматов С. А., Исмаилова З. Х., Успанова А. С. Оптимизация структуры двухслойных бетонных изделий на основе песков различных модулей крупности. Строительные материалы и изделия. 2024. № 1. С. 12–21.

7 Муртазаев С. Ю., Сайдумов М. С., Алиев С. А. Использование отсевов дробления горных пород в технологии мелкоштучных изделий для благоустройства территорий. Современные строительные материалы и технологии. 2022. № 4. С. 88–96.

8 Хасанов А. И., Магомедов М. Р. Исследование истираемости лицевого слоя тротуарной плитки при использовании модифицированных кварцевых песков. Инженерный вестник Дона. 2025. № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2025/9412.

9 Васильев П. Н., Козлов Д. А. Повышение эксплуатационных характеристик вибропрессованного бетона за счет подбора прерывистой гранулометрии заполнителей. Технологии бетонов. 2021. № 5. С. 34–39.

10 Батаева Д. С., Мажиев А. С., Хадисов В. Х. Влияние гранулометрического состава мелкого заполнителя на физико-

механические свойства вибропрессованной тротуарной плитки.  
Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2023. Т. 19. № 2(32). С. 45–53

### References

- 1 Uspanova A. S., Ismailova Z. K., Khadisov V. K., Khadzhiev, M. R. Vestnik GGNTU. Tekhnicheskie nauki. 2020. №16 (3). Pp. 75–85.
- 2 Shlyakhova E. A., Kholostova A. I. Inzhenernyj vestnik Dona. 2013. №4. URL: ivdon.ru/en/magazine/archive/n4y2013/2110.
- 3 Veshnyakova L. A., Aizenshtadt A. M. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2012. №10. Pp. 19–22.
- 4 Prudkov E. N. Transportnoe stroitel'stvo. 2014. №2. Pp. 22–25.
- 5 Aliev S. A., Uspanova A. S., Murtazaeva T. S. Vestnik GGNTU. Tekhnicheskie nauki. 2024. №20 (1). Pp. 58–67.
- 6 Akhmatov S. A., Ismailova Z. K., Uspanova A. S. Stroitel'nye materialy i izdeliya. 2024. №7 (1). Pp. 12–21.
- 7 Murtazaev S. Y., Saidumov M. S., Aliev, S. A. Sovremennye stroitel'nye materialy i tekhnologii. 2022. №4. Pp. 88–96.
- 8 Khasanov A. I., Magomedov M. R. Inzhenernyj vestnik Dona. 2025. №2. URL: ivdon.ru/en/magazine/archive/n2y2025/9412.
- 9 Vasilyev P. N., Kozlov D. A. Tekhnologii betonov. 2021. №5. Pp. 34–39.
- 10 Bataeva D. S., Mazhiev A. S., Khadisov V. K. Vestnik GGNTU. Tekhnicheskie nauki. 2023. №19 (2) Pp. 45–53.

**Авторы согласны на обработку и хранение персональных данных.**

**Дата поступления: 19.12.2025**

**Дата публикации: 7.02.2026**