

Повышение прочностных показателей дорожного бетона

Е.А. Шляхова, А.С. Карачевский, Ялунь Чэнь

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: В статье рассмотрены вопросы совершенствования технологии приготовления бетонных смесей для дорожных покрытий на действующих бетоносмесительных узлах без дополнительных затрат на их техническое перевооружение. Сущность совершенствования приготовления бетонных смесей заключается в комплексном использовании добавок карбонатного микронаполнителя и суперпластификатора в сочетании с разработанным инновационным способом приготовления бетонной смеси. Показано, что при использовании поликарбоксилатной суперпластифицирующей добавки и микронаполнителя на основе пористого известняка-ракушечника в сочетании с предложенным способом приготовления бетонной смеси, обеспечивается возможность получения дорожного бетона с требуемыми прочностными показателями при сниженном на 50 кг/м^3 расходе цемента.

Ключевые слова: дорожный бетон, суперпластификатор, минеральный микронаполнитель, способ приготовления бетонной смеси.

Цель исследований – разработка комплекса рецептурно-технологических решений, обеспечивающих получение бетонных смесей для дорожного бетона, отвечающего проектно-нормативным требованиям по прочностным показателям, без перерасхода цемента и затрат на техническое перевооружение действующих предприятий строительной индустрии.

Исследованиями ряда авторов [1-3] показана эффективность введения в бетонную смесь минеральных микронаполнителей природного или техногенного происхождения [4]. Выбор того или иного микронаполнителя в каждом конкретном случае зависит от местной сырьевой базы [5-7]. В частности, в Ростовской области, как и во многих других регионах, широко распространены месторождения известняков-ракушечников. Их суммарные запасы в разведенных месторождениях по Ростовской области составляют свыше 15 млн. м^3 . Из них порядка 9 млн. м^3 – в Каменском месторождении, г. Ростов-на-Дону. Однако априорная информация о возможности использования данного сырья для получения микронаполнителя в дорожном бетоне отсутствует.

С учетом изложенного, для достижения поставленной цели, решались вопросы получения микронаполнителя на основе пористого известняка-ракушечника (так называемой «тырсы») и технологии приготовления бетонной смеси с указанным микронаполнителем.

Материалы и методы исследований

Исходными материалами служили:

- портландцемент ЦЕМ 1 42,5Н производства Воронежского филиала АО «ЕВРОЦЕМЕНТ групп»;
- кварцевый песок ООО «Приазовье», с модулем крупности $M_k 1,57$;
- щебень фракции 5-20 мм из плотного песчаника Прохоровского месторождения Ростовской области;
- суперпластификатор на основе поликарбоксилата ST 5.0 производства ООО «БСР», г. Санкт-Петербург.

Для получения микронаполнителя использовали пористый известняк-ракушечник Каменского месторождения Ростовской области. Пористый известняк-ракушечник представляет собой малосвязанную карбонатную породу понтического происхождения, состоящую из обломков ракушек, слегка сцементированных природной окальцинацией. Плотность породы в зависимости от глубины залегания слоя (от 3 до 10 м) находится в пределах $1,5 - 2,0 \text{ т/м}^3$. Пористость – 25-40 %. Предел прочности при сжатии в водонасыщенном состоянии $1,5 - 10 \text{ МПа}$. Содержание карбоната кальция - в пределах 86 – 97 % по массе.

Определение свойств исходных материалов, бетонных смесей и прочностных показателей получаемого бетона производили стандартными методами.

Для решения поставленных рецептурно-технологических задач использовали методы математической теории планировании эксперимента [8].

Результаты испытаний, обсуждение

Влияние степени измельчения и расхода тырсы на прочностные показатели изучали на образцах - балочках размером 40x40x160 мм из цементно-песчаного раствора, состава, соответствующего растворной части бетона. Опыты проводили по симплексно-суммируемому плану эксперимента на правильном шестиугольнике [9,10]. План эксперимента, интервалы варьирования исследуемых факторов и результаты прочностных испытаний представлены в таблице 1.

Таблица № 1

Планирование и результаты эксперимента

№ опыта	Матрица планирования		Натуральные значения факторов		Прочность образцов в возрасте 28 суток при	
	кодированные факторы		расход тырсы, % от песка	удельная поверхность тырсы ($S_{уд}$), $см^2/г$	изгибе $R_{изг}$, МПа (y_1)	сжатии $R_{сж}$, МПа (y_2)
	x_1	x_2				
1	-1	0	5	2500	3,2	39,2
2	0	0	15	2500	5,1	37,5
3	+1	0	25	2500	2,5	32,4
4	-0,5	-0,87	10	2100	3,9	28,6
5	+0,5	-0,87	20	2100	2,3	27,5
6	-0,5	+0,87	10	2900	2,6	25,1
7	+0,5	+0,87	20	2900	2,4	24,2

В результате математической обработки данных таблицы 1, получены квадратичные полиномиальные модели исследуемой системы:

$$y_1 (R_{изг}) = 4,0 + 1,8x_1 + 2,3x_2 - 0,8x_1^2 + 0,6x_2^2 - 0,2x_1x_2 \quad (1)$$

$$y_2 y_2 (R_{сж}) = 38,2 + 4,1x_1 + 3,6x_2 - 2,4x_1^2 - 1,8x_2^2 - 1,4x_1x_2x_1 + 3,6x_2 - 2,4x_1^2 - 1,8x_2^2 - 1,4x_1x_2 \quad (2)$$

Полиномиальные модели (1) и (2) описывают некоторые нелинейные поверхности отклика в исследованном факторном пространстве. Методами линей алгебры [11] построены геометрические образы этих поверхностей в

виде изолиний прочностных показателей, представленные на рис. 1,2.

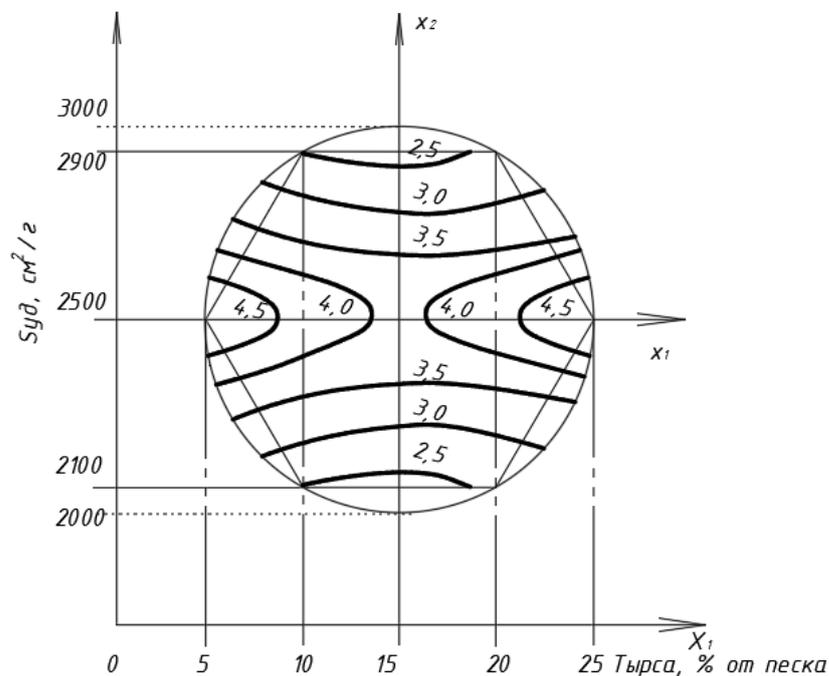


Рис. 1. – Изолинии прочности при изгибе по модели (1)

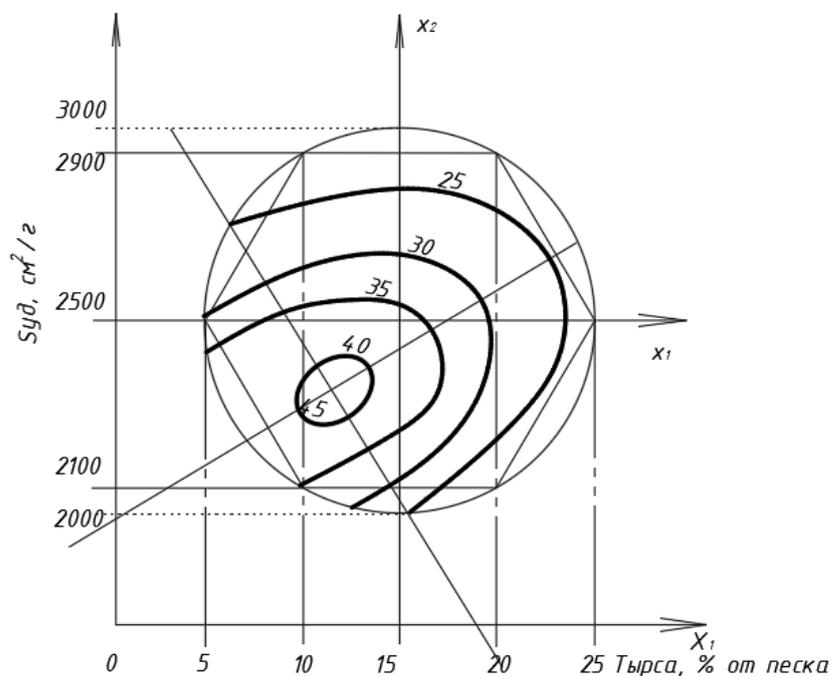


Рис. 2. – Изолинии прочности при сжатии по модели (2)

Из совместного рассмотрения моделей (1) и (2) видно, что прочностные показатели растворной части бетона могут быть существенно повышены при

введении в бетонную смесь тырсы, измельченной до удельной поверхности не ниже $2000 \text{ см}^2/\text{г}$, в количестве 10-15 % от расхода песка.

В результате дальнейших исследований разработан двухстадийный способ введения в бетонную смесь предложенного микронаполнителя (патент RU № 2833755 «Способ приготовления бетонной смеси» //Шляхова Е.А., Чэнь Ялунь. 2025).

В качестве исходного был принят состав бетонной смеси с расходом портландцемента $420 \text{ кг}/\text{м}^3$ в соотношении между компонентами Ц:П:Щ= $=1:1,7:2,7$, приготовленный одностадийным способом.

Из приготовленных бетонных смесей формовали образцы-балочки размером $100 \times 100 \times 400 \text{ мм}$, которые испытывали на изгиб, а половинки - на сжатие в возрасте 28 суток. С учетом нормативного коэффициента вариации 13 %, прочность дорожного бетона при сжатии для класса В25 должна быть не ниже 32,0 МПа и на растяжение при изгибе для класса $V_{\text{б}} 4.0$ – не ниже 5,1 МПа. Результаты сравнительных испытаний представлены в таблице №2.

Таблица №2

Составы и результаты прочностных испытаний бетона

№ состава	Способ приготовления смеси	Расход материалов, $\text{кг}/\text{м}^3$						Прочность бетона в 28 суток, МПа	
		цемент	песок	щебень	вода	ST5.0	тырса	$R_{\text{изг}}$	$R_{\text{сж}}$
10	Одностадийный	420	710	1140	168	4,2	0	5,15	32,2
11	Двухстадийный	420	630	1130	172	4,2	80	6,05	36,2
12	Двухстадийный с пониженным расходом цемента	370	620	1160	166	4,0	80	5,20	32,5

Данные, представленные в табл. 2, свидетельствуют о том, что предложенный способ приготовления бетонной смеси с введением в состав

смеси взамен части песка 80 кг/м^3 измельченной до $2000 \text{ см}^2/\text{г}$ тырсы, в сочетании с добавкой поликарбоксилатного суперпластификатора ST 5.0 в количестве 1% от массы цемента (состав № 11) обеспечивает с большим запасом требуемые прочностные показатели бетона классов B25 и Btb 4.0.

Это дало основание снизить расход цемента по сравнению с исходным с 420 кг/м^3 до 370 кг/м^3 , то есть на 50 кг/м^3 (состав № 12).

ВЫВОДЫ

1. Разработан комплекс технологических мероприятий, обеспечивающий повышение прочности дорожного бетона, без дополнительных затрат на техническое перевооружение действующих предприятий.
2. Выявлена возможность уменьшения расхода цемента на 50 кг/м^3 без снижения нормативных показателей качества дорожных бетонов за счет разработанной технологии приготовления бетонной смеси.

Литература

1. Баженов Ю.М., Демьянова В.С., Калашников В.И. Модифицированные высококачественные бетоны. М.: АСВ, 2006. 368 с.
 2. Silva, L.S.; Amario, M.; Stolz, C.M.; Figueiredo, K.V.; Haddad, A.N. A Comprehensive Review of Stone Dust in Concrete: Mechanical Behavior, Durability, and Environmental Performance. Buildings 2023, 13, 1856. URL: [//doi.org/10.3390/buildings13071856](https://doi.org/10.3390/buildings13071856).
 3. Prokopski G., Huts A., Marchuk V. Granite dust as a mineral component of a dry cement mortar mixtures // Archives of Civil Engineering. 2020. Vol. 66. No 3. P. 81-96. DOI: 10.24425/ace.2020.134385.
 4. Перцев, В.Т., Леденев, А.А., Халилбеков, Я.З. Комплексные органоминеральные добавки для бетонов. Символ науки: международный научный журнал, 2017, Т. 2, № 4, С. 89-91
 5. Кузьмина, В. П. Составы и способы получения сухих строительных
-



смесей // Сухие строительные смеси. 2018. № 5. С. 25-30.

6. Шляхова Е. А., Шляхов М.А. Влияние вида минеральной добавки микронаполнителя на свойства мелкозернистого бетона // Инженерный вестник Дона. 2015. № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3394.

7. Quoc Huy Vu, Pham Gabrie, Chonier A, Brouard E, Rathnarajan S and others. Construction and Building Materials, 2019. URL: doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.04.263.

8. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. М.: Финансы и статистика, 1981. 263 с.

9. Шляхова Е.А., Егорочкина И.О. Комплексная органоминеральная добавка на основе промышленных отходов // Инженерный вестник Дона. 2022, №10. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2022/7942.

10. Шляхова, Е.А., Руденко, А.А. Использование органоминеральной добавки для экономии цемента // Инженерный вестник Дона, 2017, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4536

11. Головина Л.И. Линейная алгебра и некоторые ее приложения: учеб. пособие. - изд. 4-е, испр. М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1985. 392 с.

References

1. Bazhenov Ju.M., Dem'janova V.S., Kalashnikov V.I. Modificirovannye vysokokachestvennyye betony [Modified high-quality concretes]. М.: ASV, 2006. 368 p.

2. Silva, L.S.; Amario, M.; Stolz, C.M.; Figueiredo, K.V.; Haddad, A.N. A Comprehensive Review of Stone Dust in Concrete: Mechanical Behavior, Durability, and Environmental Performance. Buildings 2023, 13, 1856. URL: doi.org/10.3390/buildings13071856.

3. Prokopski G., Huts A., Marchuk V. Archives of Civil Engineering. 2020.



Vol. 66. No 3. pp. 81-96. DOI: 10.24425/ace.2020.134385.

4. Pertsev, V.T., Ledenev, A.A., Khalilbekov, Ya.Z. Simvol nauki, 2017, Vol. 2, № 4, pp. 89-91.

5. Kuz'mina, V. P. Suhie stroitel'nye smesi. 2018. № 5. pp. 25-30.

6. Shljahova E. A., Shljahov M.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2015, № 4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3394.

7. Quoc Huy Vu, Pham Gabrie, Chonier A, Brouard E, Rathnarajan S and others. Construction and Building Materials, 2019. URL: doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.04.263.

8. Voznesenskij V.A. Statisticheskie metody planirovaniya jeksperimenta v tehniko-jekonomicheskikh issledovaniyah [Statistical methods of experiment planning in technical and economic research]. M.: Finansy i statistika, 1981. 263 p.

9. Shljahova E. A., Egorochkina I.O. Inzhenernyj vestnik Dona, 2022, № 10. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2022/7942.

10. Shlyakhova E.A., Rudenko A.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2017, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4536.

11. Golovina L.I. Linejnaja algebra i nekotorye ee prilozhenija: ucheb. posobie. [Linear algebra and some of its applications: study guide. 4nd edition] izd. 4-e, ispr. M.: Nauka, Glavnaja redakcija fiziko-matematicheskoy literatury, 1985. 392 p.

Дата поступления: 4.05.2025

Дата публикации: 25.06.2025