

Моделирование и экспериментальные исследования процессов старения битумоминеральных смесей

А.С.Евфорицкий

Южно-Российский государственный политехнический университет (Новочеркасский политехнический институт) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

Аннотация: В производстве битумоминеральных смесей (БМС) в качестве заполнителя предлагается использовать искусственный гранит - отход производства керамогранита. Для оценки долговечности покрытий дорожно-тротуарной сети была разработана методика определения коэффициента старения битумоминеральных смесей. Сделан вывод, что в присутствии песка из отсевов дробления керамогранита битумное вяжущее мелкозернистой БМС менее подвержено процессам старения.

Ключевые слова: искусственный гранит, старение битумного вяжущего, коэффициент старения, песок из отсевов дробления.

Долговечность эксплуатации дорожных покрытий в настоящее время является одним из основных условий при проектировании битумоминеральных смесей [1,2]. Срок службы дорог, в первую очередь, зависит от свойств используемого минерального сырья и их взаимодействия с органическим вяжущим [3,4].

Прогнозирование долговечности службы дорожного покрытия является важнейшим фактором при разработке битумоминеральных смесей (БМС) [5,6]. Для установления этого показателя необходимо проведение длительных экспериментальных исследований. В связи с этим, исключительно актуальным является оптимизация процессов с использованием методов математического моделирования для получения экспериментальных результатов и их обработки [7,8].

В данной работе были использованы результаты разработки составов битумоминеральных смесей, в которых в качестве песка из отсевов дробления фракции 0-5 мм используется отход производства керамогранита (ОПК), свойства которого по всем основным характеристикам не уступают

свойствам природного минерального сырья, в частности, гранита. При этом пористость ОПК практически отсутствует и составляет менее 1% [9,10].

На основе ОПК разработаны песчаные смеси для дорожно-тротуарной сети, физико-механические свойства которых имеют высокие показатели (табл.1)

Таблица № 1

Физико-механические показатели песков из отсевов дробления материалов

Наименование показателя и единицы измерения	Требования ГОСТ 31424-2010	ОПК	Песчаник из карьера ООО «Донской камень»	Гранит из карьера ООО НПП «Контакт»	Щебень из гравия карьер «Дробмаш»
Модуль крупности, ед.	Не нормируется	3,10	3,18	3,43	3,27
Полный остаток на сите с сеткой N 063, масс. %	От 65-75 для повышенной крупности от 45-65 для крупного	66,02	72,09	70,34	68,38
Содержание зерен размером св. 5 мм, масс %	Для I класса не более для II класса не более 20	13,9	8,32	3,72	1,62
Содержание зерен размером менее 0,16 мм, масс. %	Для I класса не более 5 Для II класса не более 10	9,54	4,8	8,10	4,82
Содержание пылевидных и глинистых частиц, масс. %	Для I класса не более 2 Для II класса не более 3	1,8	1,0	1,6	2,4
Марка по дробимости (фр.5-10 мм) Потеря массы при испытании, %	Не менее 800	1200	1200	1400	1000
Истинная плотность, г/см ³	Не нормируется	2,40	2,7	2,74	2,69

Для оценки долговечности покрытий была разработана методика, которая заключается в проведении одновременных исследований

механических свойств битумоминеральной смеси состаренной при температуре 180 °С и реологических свойств экстрагированного из него органического вяжущего (определение пенетрации при 25 °С; температуры размягчения по методу «Кольцо и шар»; растяжимости (дуктильности) при 25 °С).

Определение коэффициента старения битумного вяжущего $K_{ст}^{R_{\circ C}}$ образцов смесей по показателю прочности при сжатии при температурах 0°С, 20°С и 50 °С проводили по формуле (1):

$$K_{ст}^{R_{\circ C}} = \frac{R_{сж}^{\circ C(t_{пр}=ti)}}{R_{сж}^{\circ C(t_{пр}=0)}} \quad (1)$$

где - $R_{сж}^{\circ C(t_{пр}=ti)}$ - значение i -го показателя физико-механического свойства образца, вяжущего из смесей, после прогревания при заданной температуре в течение времени $t_{пр}$;

$R_{сж}^{\circ C(t_{пр}=0)}$ - значение i -го показателя физико-механического свойства образца, вяжущего из смесей, не прогретых при высокой температуре (т. е. $t_{пр}=0$).

Для исследований использовали мелкозернистые и песчаные БМС на основе ОПК в качестве песка из отсева дробления модуля крупности 2,82 и 3,10 в зависимости от времени старения битумного вяжущего при температурах испытания 50 °С, 20 °С, 0 °С.

На основании полученных данных проводили построение и анализ зависимостей прочности БМС с песком из отсева дробления ОПК (приведены результаты с модулем крупности 2,82) и коэффициента старения от времени его старения (рис. 1).

Из рисунка 1 можно сделать следующий вывод: наименьший коэффициент старения равный 0,96 имеют образцы, испытанные при температуре 20 °С, в течение 7 часов. Коэффициент старения образцов, испытанных при температуре 50 °С в течение 7 часов, соответствует 1,05.

Следует отметить, что для всех температур исследований экстремум прочности при сжатии наблюдается при времени старения в течение 5 часов.

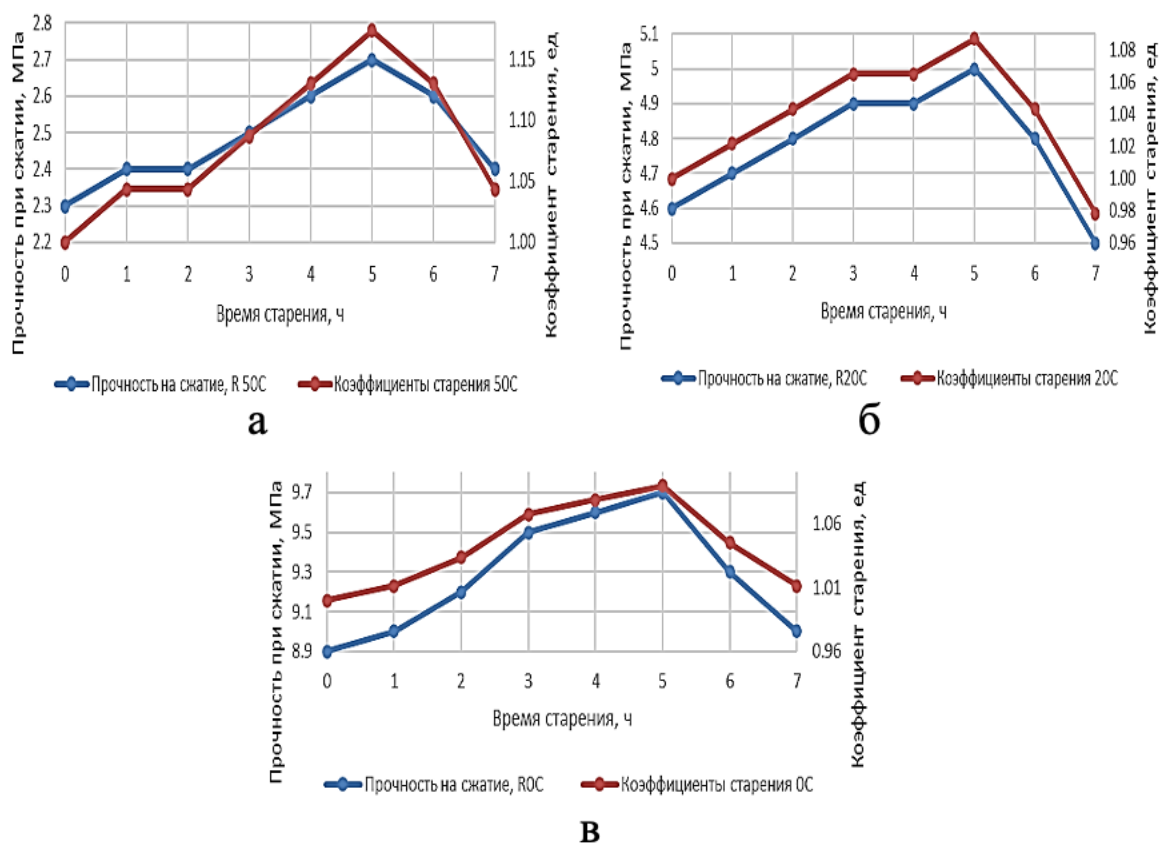


Рис. 1. – Зависимости прочности при сжатии и коэффициента старения мелкозернистой БМС с наполнителем крупным 2,82 при температурах старения: а – 50°C; б – 20 °C; в – 0 °C.

С помощью корреляционного анализа экспериментальных данных, получали аналитические зависимости значения коэффициента старения от времени старения, по показателю прочности при сжатии, при температурах испытаний.

Значения постоянных коэффициентов вычисляли аппроксимацией получаемых выражений (2) в среде Matlab.

$$\begin{cases} y_{50} = -0.0011x^3 + 0.0076x^2 + 0.0025x + 0.997 \\ y_{20} = -0.0066x^3 + 0.038x^2 + 0.0409x + 4.6106 \\ y_0 = -0.0116x^3 + 0.0708x^2 + 0.0841x + 8.8803 \end{cases}$$

(2)

Расчетным путем определяли эмпирические значения экстремума (3) аналитически анализируемых математических полиномиальных моделей третьего порядка.

$$\begin{cases} R_{50}^2 = 0.9239 \\ R_{20}^2 = 0.9616 \\ R_0^2 = 0.9549 \end{cases}$$

(3)

Величина достоверности аппроксимации (точность подбора аналитического выражения), т.е. ранг приближения находится в пределах от $R^2 = 0.9239$ до 0.9549 .

Анализируя полученные зависимости, получали экстремальные значение коэффициента старения асфальтобетонной смеси тип Б марка 1 с ОПК заполнителем крупным 2,82: при 50°C – 4,42; при 20 °C – 5,0; при 0 °C – 5,2.

На основании полученных экспериментальных данных определения прочности при сжатии образцов БМС на основе ОПК заполнителем повышенной крупности 2,82 построили обобщенную графическую зависимость показателя прочности от времени старения при температурах испытания 50 °C, 20 °C, 0 °C. Построенные зависимости представлены на рисунке 2.



Рис. 2. – Обобщенная зависимость показателя прочности при сжатии и коэффициента старения от времени старения БМС на основе ОПК с модулем крупности заполнителя крупным 2,82

Из данных результатов можно сделать заключение о том, что в присутствии песка из отсевов дробления керамогранита битумное вяжущее мелкозернистой БМС менее подвержено процессам старения даже при условии испытаний при более высокой температуре 180 °С.

Описанный эффект, вероятно определяется свойствами песка из отсевов дробления ОПК, так как данный вид заполнителя обладает значительно меньшей поверхностной микро-, мезо- и макро-пористостью. Минимальная поверхностная пористость заполнителя, в свою очередь, предотвращает избирательную фильтрацию битумного вяжущего и протекание процесса синерезиса.

В результате, разработанный метод позволяет прогнозировать изменения физико-механических свойств битумоминеральных смесей, в частности, прочности при сжатии БМС при различных температурах, в зависимости от протекающих в нем процессов старения.

Литература

1. Симчук Е.Н., Жданов К.А., Дедковский И.А. Совершенствование подходов и методов оценки физических и эксплуатационных свойств дорожного асфальтобетона в России // Дороги и мосты. - 45. - 2021. - С. 181-221. URL:

rosdornii.ru/upload/iblock/36c/3d079k47vpqvig4ka9yp6sufuuvltore/12_Simchuk_EN_s_soavtorami_13.10.2021_dlya_sayta.pdf?ysclid=mduf4cdprz584460950

2. Старков Г. Б., Костылевский А. В., Попов А. М. и др. Учет процесса старения битума при устройстве асфальтобетонных покрытий // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. — 2017. — № 4. — С. 30–35. URL: cyberleninka.ru/article/n/uchet-protssessa-stareniya-bituma-pri-ustroystve-asfaltobetonnyh-pokrytiy?ysclid=mduf7c1erw390512976

3. Борисенко Ю.Г., Солдатов А.А., Яшин С.О. Битумно-минеральные композиции, модифицированные высокодисперсными отсевами дробления керамзита // Строительные материалы. — 2009. — № 1. — С. 62–63. URL: cyberleninka.ru/article/n/svoystva-bitumomineralnyh-kompozitsiy-modifitsirovannyh-fosfogipsom?ysclid=mdufaat075311111177

4. Yatsenko N.D., Evforitsky A.S., Popova L.D., Kotenko N.P. Adesione Additives for the Production of Asphalt Concrete with the Use of Waste in Building // IOP Ceramics Conference Series Materials Science and Engineering. - 2021. - Vol. 1079, Chapter 2: International Science and Technology Conference (FarEastCon 2020) 6th-9th October 2020, Russky Island, Russia. - Article number 032065. - 6 p.

URL: elibrary.ru/item.asp?edn=dhdrzw&ysclid=mdufbbvx7b270188069

5. Yatsenko N.D., Evforitskiy A.S., Kotenko N.P. Physical and Mechanical Properties of the Road Surface when Replacing the Finely Crushed Mineral Part of Asphalt Concrete with Porcelain Stoneware Production Waste // Materials Science

Forum. — 2021. — Vol. 1043: Materials and Technologies in Construction and Architecture. — pp. 101-107. URL: scientific.net/MSF.1043.101

6. Fischer, H. R., Dillingh, E. C., Hermse, C. G. M. On the interfacial interaction between bituminous binders and mineral surfaces as present in asphalt mixtures // Applied Surface Science. — 2013. — № 265. — pp. 495–499. URL: semanticscholar.org/paper/On-the-interfacial-interaction-between-bituminous-Fischer-Dillingh/fe5a4826a15be3759fce32caa1fad3bca36f9764

7. Новиков, С. П., Зайцева, Е. Ю. Применение корреляционного анализа для исследования экспериментальных данных // Молодой исследователь Дона. — 2019. — № 4. — С. 100–104. URL: cyberleninka.ru/article/n/primenenie-korrelyatsionnogoanalizadlyaissledovaniyaeksperimentalnyhdannyh?ysclid=mdufdnj9ci489014051

8. Скрипкин, А. Д., Старков, Г. Б., Колесник, Д. А. Оценка старения битума в тонких пленках с применением анализатора тонкой хроматографии «Iatroscan МК-5» — Москва: Номбус, 2007. — 150 с.

9. Евфорицкий А.С. Исследование процессов переработки вспененного терриконика в составную часть асфальтобетона // Проблемы развития научной конкуренции в области высоких технологий: сборник статей Международной научно-практической конференции, г. Челябинск, 15 ноября 2018 г. — Уфа: Научно-издательский центр «Аэтерна», 2018. — С. 6–9. URL: aeterna-ufa.ru/sbornik/NK-TN-95.pdf?ysclid=mduff6ev4s117318605

10. Урханова Л. А., Битуев, А. В. Использование золы уноса Гусиноозерской ГРЭС в качестве минерального порошка для асфальтобетона // Вестник СибАДИ. — 2012. — № 4. — С. 45–50. URL: cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-zoly-unosa-gusinoozerskoy-gresvkachestve-mineralnogo-poroshkdlyaasfaltobetona?ysclid=mdufftd5uv928745346

References

1. Simchuk E.N., Zhdanov K.A., Dedkovskii I.A. Dorogi i mosty. 2021, pp 181-221. URL: rosdornii.ru/upload/iblock/36c/3d079k47vpqvig4ka9yp6sufuuvltore/12_Simchuk_EN_s_soavtorami_13.10.2021_dlya_sayta.pdf?ysclid=mduf4cdprz584460950
2. Starkov G. B., Kostylevskii A. V., Popov A. M. i dr. Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putei soobshcheniya, 2017, pp. 30–35. URL: cyberleninka.ru/article/n/uchetprotsessastareniyabitumapriustroystveasfaltobetonnyh-pokrytiy?ysclid=mduf7c1erw390512976
3. Borisenko Yu.G., Soldatov A.A., Yashin S.O. Stroitel'nye materialy, 2009, pp. 62–63. URL: cyberleninka.ru/article/n/svoystva-bitumomineralnyh-kompozitsiy-modifitsirovannyh-fosfogipsom?ysclid=mdufaat075311111177
4. Yatsenko N.D., Evforitsky A.S., Popova L.D., Kotenko N.P. IOP Ceramics Conference Series Materials Science and Engineering. 2021. Vol. 1079, Chapter 2: International Science and Technology Conference (FarEastCon 2020) 6th-9th October 2020, Russky Island, Russia. 6 p. URL: elibrary.ru/item.asp?edn=dhdrzw&ysclid=mdufbbvx7b270188069
5. Yatsenko N.D., Evforitskiy A.S., Kotenko N.P. Materials Science Forum. 2021, pp. 101-107. URL: scientific.net/MSF.1043.101
6. Fischer, H. R., Dillingh, E. C., Hermse, C. G. M. Applied Surface Science. 2013, pp. 495–499. URL: semanticscholar.org/paper/On-the-interfacial-interaction-between-bituminousFischerDillingh/fe5a4826a15be3759fce32caa1fad3bca36f9764
7. Novikov, S. P., Zaitseva, E. Yu Molodoi issledovatel' Dona, 2019, pp. 100–104. URL: cyberleninka.ru/article/n/primenenie-korrelyatsionnogo-analiza-dlya-issledovaniya-eksperimentalnyh-dannyh?ysclid=mdufdnj9ci489014051
8. Skripkin, A. D., Starkov, G. B., Kolesnik, D. A. Otsenka stareniya bituma v tonkikh plenках s primeneniem analizatora tonkoi khromatografii «Iatroscan

МК-5»[Evaluation of bitumen aging in thin films using the Iatroscan MK-5 thin chromatography analyzer]. Moskva: Nombus, 2007, 150 p.

9. Evforitskii A.S. Problemy razvitiya nauchnoi konkurentsii v oblasti vysokikh tekhnologii: sbornik statei Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, g. Chelyabinsk, 15 noyabrya 2018 g. Ufa: Nauchno-izdatel'skii tsentr «Aeterna», 2018, pp. 6–9. URL: aeterna-ufa.ru/sbornik/NK-TN-95.pdf?ysclid=mduff6ev4s117318605

10. Urkhanova L. A., Bituev, A. V. Vestnik SibADI. 2012, pp. 45–50. URL: cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-zoly-unosa-gusinoozerskoy-gresvkachestve-mineralnogoporoshkadlyaasfaltobetona?ysclid=mdufftd5uv928745346

Дата поступления: 30.06.2025

Дата публикации: 25.08.2025