

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УТИЛИЗИРУЕМЫХ ОТХОДОВ КЕРАМЗИТА В ГЕРМЕТИЗИРУЮЩИХ БИТУМНЫХ МАСТИКАХ

**В. П. Ярцев, А. Н. Зимнухов,
А. С. Погорелов, А. А. Крюкова**

*ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный
технический университет»;
администрация города Тамбова, г. Тамбов, Россия*

Рецензент д-р техн. наук, профессор В. И. Леденев

Ключевые слова: атмосферостойкость; водопоглощение; вязкость; индекс пенетрации; коэффициент теплового расширения; плотность; растяжимость; хрупкость.

Аннотация: Изучено влияние отходов керамзита на физико-механические и теплотехнические свойства композитов на основе битума. Дано описание механизма взаимодействия керамзитовой пыли с битумом в процессах нагревания и растворения. Проведено сравнение эксплуатационных характеристик холодных и горячих битумных мастик, наполненных отходами керамзита. Предложен состав битумных мастик с повышенными технологическими и эксплуатационными характеристиками.

Хозяйственная деятельность человека, как отмечал В. И. Вернадский, может привести к глобальной катастрофе. Об этом свидетельствует «мусорная» проблема. Количество отходов растет в 3-4 раза быстрее, чем население. Ежегодно на каждого человека расходуется не менее 20 тонн природных ресурсов. Для производства товаров из них используется только 2 %. Остальные 98 % сразу же уходят в отходы, но через некоторое время и эти 2 % также становятся отходами. Одежда и обувь изнашиваются. Техника выходит из строя. Следовательно, человечество не производит ничего кроме отходов.

Проблема утилизации отходов промышленности является основной задачей современного строительного материаловедения. Находящийся в отвалах строительный мусор зачастую пригоден для повторного исполь-

Ярцев Виктор Петрович – доктор технических наук, профессор кафедры «Конструкции зданий и сооружений», e-mail: kzis@nnn.tstu.ru, ТамбГТУ; Зимнухов Александр Николаевич – председатель комитета градостроительства, администрация г. Тамбова; Погорелов Александр Сергеевич – магистрант; Крюкова Ангелина Андреевна – студент, ТамбГТУ, г. Тамбов, Россия.

зования в качестве активных или пассивных добавок в новые композитные материалы. Из всех видов строительных отходов наиболее употребляемыми и изученными являются бетоны.

Вопросам утилизации отходов керамзита в настоящее время уделяется большое внимание, что объясняется, прежде всего, нехваткой практически повсеместно сырьевых ресурсов и их удорожанием. В то же время керамзитовые отходы в своем составе имеют компоненты, пригодные для получения на их основе строительных материалов различного назначения. Проблема утилизации строительных отходов актуальна и потому, что с ее решением уменьшается загрязнение окружающей среды [1 – 4].

Для испытаний готовили горячие и холодные битумные мастики, состоящие из битума марки БН 70/30 ГОСТ 6617–76, растворителя Уайт-спирит ГОСТ 3134–78 в пропорции 1:1, в качестве наполнителя использовали керамзитовую пыль.

Среднюю плотность битумных образцов определяли методом гидростатического взвешивания, основанного на двукратном взвешивании в воздухе и воде. При взвешивании в воздухе определяется масса тела, по разности результатов обоих взвешиваний – его объем (табл. 1). Средняя плотность образцов горячей и холодной битумных мастик составляет 0,94...0,98 г/см³ и незначительно снижается с увеличением процентного содержания керамзита. Водопоглощение битумных образцов определяли на 1, 3 и 7 суток. Результаты испытаний выдержки образцов в воде после 7 суток приведены в табл. 1.

С увеличением процентного содержания керамзита повышается водопоглощение как для образцов горячей мастики, так и холодной. Из таблицы 1 видно, что холодная битумная мастика обладает большим водопоглощением, чем горячая, что, по-видимому, связано с наличием пор в образцах после испарения растворителя.

Температуру размягчения битумов определяли с помощью прибора «Кольцо и шар» (см. табл. 1) [5, 6]. С увеличением процентного содержания керамзита в битуме повышается температура размягчения материала. Холодная битумная мастика характеризуется низкой теплостойкостью, так как ее температура размягчения ниже приблизительно на 20 °С, чем у горячей.

Таблица 1

Основные физические характеристики битумных мастик

Количество отходов керамзита (% по массе)	Плотность, г/см ³		Водопоглощение <i>W</i> , %		Температура размягчения, °С	
	горячая	холодная	горячая	холодная	горячая	холодная
Без добавки	0,98	0,95	0,124	5,26	85,5	65,5
0,5	0,973		2,04	5,45		66
1	0,974	0,947	2,44	6,4	87,5	67,5
2	0,97	0,943	3,02	6,7	88,5	69

Результаты испытаний на вязкость горячих битумных мастик, полученные с помощью пенетрометра, представлены на рис. 1. При увеличении содержания отходов керамзита в битумной мастике вязкость увеличивается, и материал становится прочнее. Испытания проводились при температуре 15 и 25 °С. Из графиков видно, что при снижении температуры вязкость мастик увеличивается.

Условную вязкость определяли на вискозиметре (рис. 2). С увеличением содержания в битумной мастике отходов керамзита условная вязкость увеличивается более чем на 10 %.

Испытание образцов горячей и холодной битумной мастики на растяжение проводили на дуктилометре (рис. 3). У холодной битумной мастики с добавлением отходов керамзита повышается растяжимость. Для образцов с содержанием 2 % керамзита растяжимость увеличивается более чем на 20 % по сравнению с ненаполненной мастикой [7]. Для горячих битумных мастик растяжимость повышается значительно меньше (порядка 10 %).

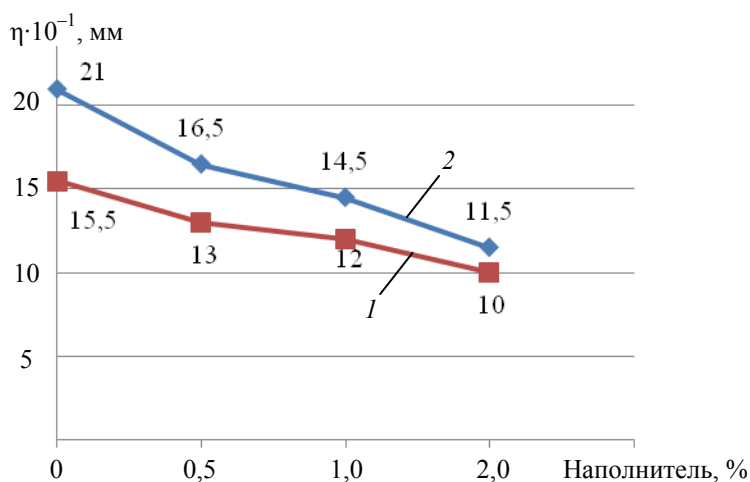


Рис. 1. Зависимости вязкости η битумных мастик от содержания отходов керамзита при температуре 15 °С (1) и 25 °С (2)

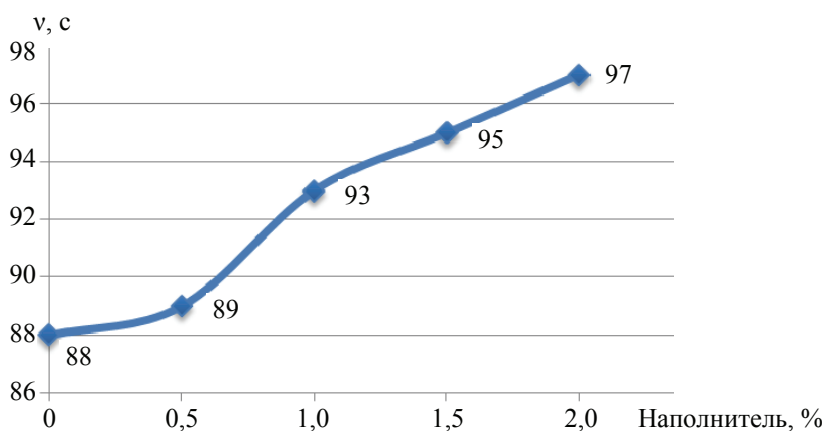


Рис. 2. Зависимость условной вязкости ν битумных мастик от содержания отходов керамзита

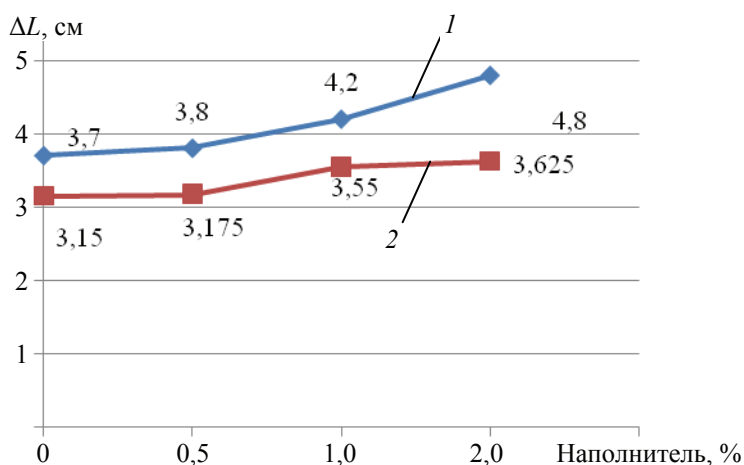


Рис. 3. Зависимости растяжимости ΔL битума от содержания отходов керамзита в холодной (1) и горячей (2) мастиках

Для определения коэффициента теплового линейного расширения битума использовали оптический дилатометр. На рисунке 4 представлены результаты испытаний ненаполненных горячих и холодных битумных мастик. Дилатометрическая кривая для горячей битумной мастики наглядно отражает процессы, происходящие в битуме при нагревании. Характер зависимостей одинаков для всех исследуемых битумных материалов. При нагревании до 35...40 °С битумные материалы начинают размягчаться и достигают начальной температуры размягчения. При нагревании до 55...60 °С температурное расширение материалов не происходит ($\alpha = 0$), то есть весь материал переходит в пластическое состояние [8, 9]. При увеличении температуры выше 60 °С полностью размягченные битумные образцы снова расширяются. Дилатометрическая кривая для холодной битумной мастики наглядно не отражает процессы, происходящие в битуме и битумных композициях при нагревании, что связано с более низкой температурой размягчения материала.

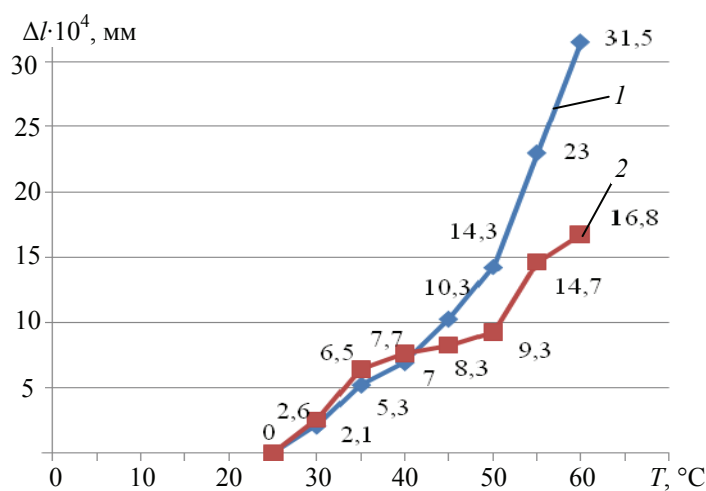


Рис. 4. Зависимости линейного удлинения образца Δl битума от температуры испытания в холодной (1) и горячей (2) мастиках

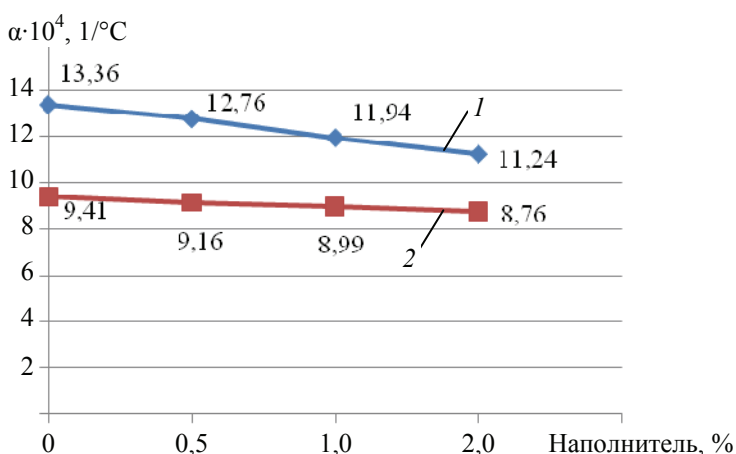


Рис. 5. Зависимости коэффициента температурного расширения битума от содержания отходов керамзита в холодной (1) и горячей (2) мастиках

Таблица 2

Определение индекса пенетрации битумных образцов

Состав битумной мастики, % по массе	Глубина проникания иглы, мм	Температура размягчения, °С	Индекс пенетрации
Без добавок	21	85,5	3,007
0,5	16,33		2,517
1	14,33	87,5	
2	11,7	88,5	

Величину коэффициента линейного температурного расширения рассчитывали по формуле

$$\alpha = \frac{\Delta l}{\Delta T l_0},$$

где l_0 – начальная длина образца.

Результаты испытаний наполненных битумных мастик представлены на рис. 5. Введение в горячую битумную мастику отходов керамзита практически не влияет на коэффициент температурного линейного расширения, в холодную – снижает данный показатель.

По полученным значениям температуры размягчения и вязкости образцов горячей битумной мастики с наполнителем в виде отходов керамзита определяется индекс пенетрации (ИП) (табл. 2).

Значение ИП больше +2, следовательно, для всех образцов битумных мастик характерны высокие пластические свойства и повышенная атмосферостойкость, они мало чувствительны к изменениям температуры, отличаются малой хрупкостью [10]. Битумные мастики с наполнителем из отходов керамзита рекомендованы к применению в условиях широкого диапазона температур при эксплуатации битумных материалов.

Список литературы

1. Битумополимерные композиции / Б. Г. Печеный, В. Н. Каракук, Б. Г. Теляшев, А. В. Дунаенко. – М. : [б. и.], 1992. – 89 с.
2. Горетый, В. В. Сераасфальтобетоны на местных заполнителях для ремонта автодорог / В. В. Горетый // Проблемы строительного материаловедения и новые технологии : сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф. «Качество, безопасность, энерго- и ресурсосбережение в промышленности строительных материалов и строительстве на пороге XXI века», 21-22 октября 2000 г., Белгород. – Белгород, 2000. – Т. 2. – С. 123 – 127.
3. Гридчин, А. М. Исследование физико-химических свойств модифицированной асфальтобетонной смеси в процессе ремонта покрытия в условиях повышенной влажности и возможных отрицательных температур / А. М. Гридчин, Л. С. Мартыненко, А. А. Колосов // Проблемы строительного материаловедения и новые технологии : сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф. «Качество, безопасность, энерго- и ресурсосбережение в промышленности строительных материалов и строительстве на пороге XXI века», 21-22 октября 2000 г., Белгород. – Белгород, 2000. – Т. 2. – С. 57 – 63.
4. Гридчин, А. М. Изучение физико-механических и противогололедных свойств асфальтобетона с соевыми добавками / А. М. Гридчин, Г. С. Духовный, А. Н. Котухов // Проблемы строительного материаловедения и новые технологии : сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф. «Качество, безопасность, энерго- и ресурсосбережение в промышленности строительных материалов и строительстве на пороге XXI века», 21-22 октября 2000 г., Белгород. – Белгород, 2000. – Т. 2. – С. 98 – 104.
5. Гурова, Е. В. Повышение долговечности и теплостойкости строительных битумных мастик введением асбофрикционных отходов : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / Гурова Елена Валентиновна. – Воронеж, 2004. – 206 с.
6. Гурова, Е. В. Испытания битумных кровельных материалов : лабораторные работы / Е. В. Гурова, М. В. Долженкова, В. П. Ярцев. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2005. – 16 с.
7. Сапов, А. В. Структура и эксплуатационные характеристики битумов / А. В. Сапов, А. Н. Зимнухов, В. П. Ярцев // *Вопр. соврем. науки и практики*. Университет им. В. И. Вернадского. – 2017. – № 2 (64). – С. 180 – 186. doi: 10.17277/voprosy.2017.02.pp.180-186
8. Ярцев, В. П. Прогнозирование долговечности асбестоцементных труб / В. П. Ярцев, М. А. Загородникова // *Вопр. соврем. науки и практики*. Университет им. В. И. Вернадского. – 2014. – № 2 (51). – С. 77 – 81.
9. Строительно-технологическая утилизация техногенных отходов как комплексная системная эколого-экономическая проблема развития территорий и градостроительства / Е. М. Чернышов, Н. Д. Потамовшнев, П. В. Монастырев, В. П. Ярцев // *Вопр. соврем. науки и практики*. Университет им. В. И. Вернадского. – 2016. – № 4 (62). – С. 67 – 86. doi: 10.17277/voprosy.2016.04.pp.067-086
10. Zagorodnikova, M. A. Strength and Durability of Roofing PVC Membranes in the Conditions of Climate Impacts / M. A. Zagorodnikova, V. P. Yartsev, V. G. Rupyshev // *Advanced Materials & Technologies*. – 2019. – No. 2. – P. 41 – 47. doi: 10.17277/amt.2019.02.pp.041-047

References

1. Pechenii, B.G., Karakuc V.N., Telyashev B.G., Dunaenko A.V. *Bitumopolimernye kompozitii* (Bitum-polymer compositions), Moscow, 1992, 89 p. (In Russ.)

2. Goretyy V.V. *Problemy stroitel'nogo materialovedeniya i novyye tekhnologii: sbornik dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Kachestvo, bezopasnost', energo- i resursosberezheniye v promyshlennosti stroitel'nykh materialov i stroitel'stve na poroge XXI veka»* [Problems of building materials science and new technologies: a collection of reports of the International Scientific and Practical Conference “Quality, Safety, Energy and Resource Saving in the Building Materials Industry and construction on the threshold of the 21st century”], 21-22 October, 2000, Belgorod, 2000, vol. 2, pp. 123-127. (In Russ.)

3. Gridchin A.M., Martynenko L.S., Kolosov A.A. *Problemy stroitel'nogo materialovedeniya i novyye tekhnologii: sbornik dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Kachestvo, bezopasnost', energo- i resursosberezheniye v promyshlennosti stroitel'nykh materialov i stroitel'stve na poroge XXI veka»* [Problems of building materials science and new technologies: a collection of reports of the International Scientific and Practical Conference “Quality, Safety, Energy and Resource Saving in the Building Materials Industry and construction on the threshold of the 21st century”], 21-22 October, 2000, Belgorod, 2000, vol. 2, pp. 57-63. (In Russ.)

4. Gridchin A.M., Dukhovnyy G.S., Kotukhov A.N. *Problemy stroitel'nogo materialovedeniya i novyye tekhnologii: sbornik dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Kachestvo, bezopasnost', energo- i resursosberezheniye v promyshlennosti stroitel'nykh materialov i stroitel'stve na poroge XXI veka»* [Problems of building materials science and new technologies: a collection of reports of the International Scientific and Practical Conference “Quality, Safety, Energy and Resource Saving in the Building Materials Industry and construction on the threshold of the 21st century”], 21-22 October, 2000, Belgorod, 2000, vol. 2, pp. 98-104. (In Russ.)

5. Gurova, E.V. *PhD Dissertation (Engineering)*, Voronezh, 2004, 206 p. (In Russ.)

6. Gurova E.V., Dolzhenkova M.V., Yartsev V.P. *Ispytaniya bitumnykh krovel'nykh materialov: laboratornyye raboty* [Tests of bitumen roofing materials: laboratory work], Tambov: Izdatel'stvo Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2005, 16 p. (In Russ.)

7. Sapov A.V., Zimmukhov A.N., Yartsev V.P. [The structure and operational characteristics of bitumen], *Voprosy sovremennoy nauki i praktiki. Universitet im. V. I. Vernadskogo* [Problems of Contemporary Science and Practice. Vernadsky University], 2017, no. 2 (64), pp. 180-186, doi: 10.17277/voprosy.2017.02.pp.180-186 (In Russ., abstract in Eng.)

8. Yartsev V.P., Zagorodnikova M.A. [Prediction of the durability of asbestos-cement pipes], *Voprosy sovremennoy nauki i praktiki. Universitet im. V. I. Vernadskogo* [Problems of Contemporary Science and Practice. Vernadsky University], 2014, no. 2 (51), pp. 77-81. (In Russ., abstract in Eng.)

9. Chernyshov Ye.M., Potamoshneva N.D., Monastyrev P.V., Yartsev V.P. [Construction and technological utilization of industrial waste as a complex system of environmental and economic development of territories and urban development], *Voprosy sovremennoy nauki i praktiki. Universitet im. V. I. Vernadskogo* [Problems of Contemporary Science and Practice. Vernadsky University], 2016, no. 4 (62), pp. 67-86, doi: 10.17277/voprosy.2016.04.pp.067-086 (In Russ., abstract in Eng.)

10. Zagorodnikova M.A., Yartsev V.P., Rupyshv V.G. Strength and Durability of Roofing PVC Membranes in the Conditions of Climate Impacts, *Advanced Materials & Technologies*, 2019, no. 2, pp. 41-47, doi: 10.17277/amt.2019.02.pp.041-047 (In Eng., abstract in Russ.)

Use of Utilized Expanded Clay Waste in Sealing Bituminous Mastics

V. P. Yartsev, A. N. Zimnukhov,
A. S. Pogorelov, A. A. Kryukova

*Tambov State Technical University;
Administration of the city of Tambov, Tambov, Russia*

Keywords: weather resistance; water absorption; viscosity; penetration index; coefficient of thermal expansion; density; elongation; fragility.

Abstract: The influence of expanded clay waste on the physicomaterial and thermotechnical properties of bitum composites is studied. A description of the mechanism of the interaction of expanded clay dust with bitumen in the processes of heating and dissolution is given. The performance characteristics of cold and hot bituminous sticks filled with expanded clay waste are compared. A composition of bitumen mastics with enhanced technological and operational characteristics is proposed.

© В. П. Ярцев, А. Н. Зимнухов,
А. С. Погорелов, А. А. Крюкова, 2020