

## Применение отходов промышленности для получения щебеночно-мастичного асфальтобетона

*Г.В. Василевская, М. Л. Берсенева, С. В. Дружинкин, В. О. Киселев, А.А.*

*Якшина*

*Сибирский федеральный университет, Красноярск*

**Аннотация:** Щебеночно-мастичный асфальтобетон является более долговечным материалом по сравнению с традиционным асфальтобетоном. Но для его применения необходимы качественные минеральные порошки и битумоносители, для предотвращения вытекания битума из состава. В настоящее время используются порошки из карбонатных горных пород и битумоносители из натуральных целлюлозных волокон. Однако многие регионы России, в том числе и Красноярский край, не обеспечены этими материалами, а также они имеют высокую стоимость. Цель нашей работы заключалась в снижении стоимости и улучшении свойств щебеночно-мастичного асфальтобетона. Задача исследований состояла в разработке составов щебеночно-мастичного асфальтобетона с использованием отходов промышленности Красноярского края. Испытывались нефелиновый шлам – отход глиноземного комбината г. Ачинска и резиновая крошка с включениями кордного волокна г. Черногорска Красноярского края. Изучались химический состав и физико-механические свойства этих отходов. Были приготовлены составы щебеночно-мастичного асфальтобетона с применением этих отходов. Испытания показали, что полученные составы отвечают нормативным требованиям. Разработанные составы были внедрены «Красноярскавтодором» на дорогах Красноярского края. Экономический эффект от использования отходов достигается за счет применения местного сырья, что приводит к сокращению транспортных расходов и энергозатрат.

**Ключевые слова:** Щебеночно-мастичный асфальтобетон, отходы промышленности, нефелиновый шлам, минеральный порошок, битумоноситель, отходы резины с включениями кордного волокна, щебень, песок.

Самым распространенным дорожно-строительным материалом в настоящее время является асфальтобетон [1]. Однако он имеет ряд недостатков, особенно при его применении в районах Сибири. Можно улучшить свойства асфальтобетона полимерами [2], но это приводит к значительному удорожанию материала.

За рубежом в дорожном строительстве уже давно начали применять щебеночно-мастичный асфальтобетон (далее ЩМА), который по сравнению с асфальтобетоном обладает рядом преимуществ [3,4]. ЩМА более стойкий к пластическим деформациям летом и более трещиностойкий зимой [5,6]. По

---

составу ЩМА не отличается от асфальтобетона, но он содержит много битума. Поэтому необходимо применять специальные добавки для предотвращения вытекания битума при технологических операциях устройства дорожных покрытий. Эти добавки представляют собой волокна или гранулы. Качество заполнителей, применяемых в ЩМА, должно быть высокое. Щебень применяют кубовидной формы, а песок только дробленый.

В России ЩМА долгое время не применялся из-за того, что не было необходимой добавки битумоносителя. Сейчас битумоносители в основном применяют из натуральных целлюлозных волокон [7], а также асбестоцементные волокна [8-10]. При применении ЩМА достигается экономический эффект за счет увеличения долговечности и уменьшения толщины дорожных покрытий.

На качество ЩМА смеси большое влияние оказывает минеральный порошок, содержание которого составляет 8 – 15%. Лучшими свойствами обладает минеральный порошок, полученный путем тонкого измельчения основных и карбонатных горных пород. Но многие регионы России, в том числе и Красноярский край, не обеспечены высококачественным минеральным порошком. Поэтому большое значение придается использованию дисперсных отходов промышленности.

В настоящей работе разрабатывались составы ЩМА с использованием отходов промышленности Красноярского края. В крае нет производства минерального порошка и нет стабилизирующих добавок из натуральных волокон. Поэтому применение отходов промышленности позволит снизить стоимость и получить ЩМА с улучшенными свойствами на основе местных материалов. Использовался отход глиноземного комбината г. Ачинска – нефелиновый шлам и резиновая крошка с включениями кордного волокна г. Черногорска Красноярского края. В настоящее время эти отходы не используются.

---

Исследования по применению нефелинового шлама в качестве минерального порошка в ЦМА не проводились. Наша задача заключалась в изучении возможности применения нефелинового шлама в качестве минерального порошка в щебеночно-мастичном асфальтобетоне.

Нефелиновый шлам является отходом переработки нефелиновых руд совместно с известняком Мазульского карьера г. Ачинска. Он образуется после извлечения из руд глинозема и содопродуктов. В Красноярском крае накапливается ежегодно значительный объем нефелинового шлама. С использованием рентгеноструктурного и термического анализов изучался химический состав нефелинового шлама, приведенный в табл.№1

Таблица №1

Состав нефелинового шлама

| Наименование и содержание оксидов, % мас. |      |                                |                                |     |                   |                  |        |
|---|------|--------------------------------|--------------------------------|-----|-------------------|------------------|--------|
| SiO <sub>2</sub>                          | CaO  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MgO | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | Прочие |
| 29,6                                      | 56,8 | 3,5                            | 2,9                            | 1,4 | 1,2               | 0,5              | 4,1    |

Плотность нефелинового шлама составляет 2,9 г/см<sup>3</sup>, а водородный показатель РН= 10,5. Из таблицы №1 видно, что нефелиновый шлам содержит много основного оксида СаО, за счет которого образуется щелочная среда. В битуме же содержатся анионоактивные поверхностно-активные вещества (нафтеновые, асфальтогеновые кислоты), которые могут взаимодействовать с оксидом СаО. Это указывает на возможность химического взаимодействия между этим оксидом и битумом, которое может привести к получению новых химических соединений на поверхности каменных материалов типа кальциевых мыл. Эти соединения нерастворимы в воде. В результате минеральные наполнители в ЦМА покрываются тонкой водонепроницаемой пленкой, которая будет увеличивать его водостойкость.

Также исследовался нефелиновый шлам на соответствие требованиям ГОСТ Р 52129-2003. Установлено, что по физико-механическим показателям

он соответствует требованиям, которые предъявляются к минеральным порошкам марки МП-2.

Испытания зернового состава показали, что нефелиновый шлам является тонкодисперсным наполнителем, следовательно, его можно применять в составе битумной мастики, которая будет заполнять пустоты между более крупными частицами в ЩМА.

В качестве битумоносителя применялась резиновая крошка с включениями кордного волокна, полученная после дробления старых автомобильных покрышек. Резиновая крошка должна увеличивать морозостойкость и водостойкость ЩМА. Свойства резиновой крошки в сравнении с требованиями ГОСТ 31015-2002 приводятся в табл. №2.

Таблица №2

Свойства резиновой крошки

| Наименование свойств   | Свойства | Нормативные требования |
|--|----------|------------------------|
| 1. Влажность, % по массе, не более                                       | 2,8      | 8,0                    |
| 2. Термостойкость при 220°С по изменению массы при прогреве, %, не более | 1,8      | 7,0                    |
| 3. Содержание волокон длиной от 0,1 мм до 2,0 мм, %, не менее            | 93       | 80                     |

Как видно из таблицы, резиновая крошка отвечает требованиям ГОСТ по термостойкости и содержанию волокон как стабилизирующая добавка.

Крупным наполнителем в ЩМА использовался щебень Березовского карьера г. Красноярск. Мелким наполнителем в ЩМА применялся дробленый песок того же карьера.

Испытания физико-механических свойств наполнителей показали, что щебень имеет высокую марку по прочности и содержит мало зерен пластинчатой формы – 8,5 % (по ГОСТ не более 15 %), а песок содержит мало пыли и глины – 0,4% (по ГОСТ не более 0,5 %).

Для приготовления ЩМА использовался дорожный битум марки БНД 90/130 нефтеперерабатывающего завода г. Ачинска. Испытания показали, что по всем показателям битум отвечает требованиям ГОСТ.

Расчет ЩМА-20 проводили в соответствии с рекомендациями ГОСТ 31015-2002. После проведения расчета был получен состав минеральной части ЩМА, приведенный в табл. №3.

Таблица №3

Составы ЩМА

| Материал               | Содержание в смеси, % | Размер отверстий сит, мм                |       |       |       |       |       |       |       |      |       |
|------------------------|-----------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
|                        |                       | 20                                      | 15    | 10    | 5     | 2,5   | 1,25  | 0,63  | 0,315 | 0,16 | 0,075 |
|                        |                       | Процентное содержание частиц мельче, мм |       |       |       |       |       |       |       |      |       |
| Щебень фракции 5-20 мм | 75                    | 75                                      | 43,9  | 4,5   | 0,4   | -     | -     | -     | -     | -    | -     |
| Песок                  | 14                    | 14                                      | 14    | 14    | 14    | 10,8  | 6,9   | 4     | 2     | 0,1  | -     |
| Нефелиновый шлам       | 11                    | 11                                      | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    | 10    | 9,7  | 8,5   |
| Сумма                  | 100                   | 100                                     | 68,9  | 29,5  | 25,4  | 21,8  | 17,9  | 15,0  | 12    | 9,8  | 8,5   |
| Требования             |                       | 90-100                                  | 50-70 | 25-42 | 20-30 | 15-25 | 13-24 | 11-21 | 9-19  | 8-15 | 8-13  |

Затем из рассчитанного состава готовили ЩМА. Количество битума и стабилизирующей добавки подбирали опытным путем. Готовилось три состава ЩМА с содержанием битума (% мас.) - 6,5; 7; 7,5, а количество стабилизирующей добавки составляло (% мас.) - 0,2; 0,5; 0,9 соответственно. Смесь готовили при температуре 150-165 °С. Эта температура была выбрана в зависимости от вязкости исходного битума. Полученную смесь испытывали на расслаиваемость, которую оценивали по показателю стекания вяжущего в соответствии с методикой ГОСТ 31015-2002. Результаты испытаний

показали, что смесь не расслаивается при технологических температурах ее приготовления и укладки. Таким образом, на основании проведенных опытов можно сделать вывод, что резиновая крошка может применяться в качестве стабилизирующей добавки в составах ЦМА. Из полученной смеси формовали образцы. Изготовленные образцы испытывались на основные физико-механические показатели в соответствии с ГОСТ 31015-2002. Свойства ЦМА приводятся в табл. № 4.

Таблица №4

Физико-механические свойства ЦМА

| Наименование свойств   | Состав №1 | Состав №2 | Состав №3 | Нормативные требования |
|--|-----------|-----------|-----------|------------------------|
| 1. Предел прочности при сжатии, при 20°C, МПа                | 2,6       | 2,7       | 2,5       | Не менее 2,2           |
| 2. Предел прочности при сжатии, при 50°C, МПа                | 0,66      | 0,74      | 0,67      | Не менее 0,65          |
| 3. Водопоглощение под вакуумом, % по массе                   | 3,78      | 3,07      | 3,79      | 1-4                    |
| 4. Коэффициент водостойкости после длительного водонасыщения | 0,98      | 1,15      | 1,05      | Не менее 0,85          |
| 5. Средняя плотность, г/см <sup>3</sup>                      | 2,35      | 2,23      | 2,28      | -                      |

Из таблицы №4 видно, что все разработанные составы ЦМА отвечают требованиям ГОСТа. Однако лучшими показателями обладает состав №2 с содержанием битума 7% и с содержанием стабилизирующей добавки 0,5%, так как он имеет большую прочность при 20 °С и 50 °С, водостойкость и более низкое водопоглощение по сравнению с другими составами. Состав №2 был рекомендован и внедрен «Красноярскавтодором» на дорогах Красноярского края. Испытания образцов-вырубок из дорожного покрытия, эксплуатированного в течение одного года, показали хорошие результаты, соответствующие нормативным документам. Экономический эффект от



использования отходов промышленного производства в составах ЩМА достигается за счет применения местного сырья, что приводит к сокращению транспортных расходов и энергозатрат.

### Литература

1. Николенко М.А., Бессчетнов Б.В. Повышение длительной трещиностойкости асфальтобетона дорожных покрытий // Инженерный вестник Дона, 2012, №1 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2012/856/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2012/856/).

2. Христофорова А.А., Филиппов С.Э., Гоголев И.Н. Разработка жестких покрытий карьерных дорог с применением активированной резиновой крошки // Инженерный вестник Дона, 2011, №4 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2011/599/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2011/599/).

3. Bell A.C., A.B.- Wahaby Y., Cristime M. E., Sosnovske D. Selection of Laboratory Aging Procedures for Asphalt-Aggregate Mixtures. Washington D.C.: National Research Council, 1999, p. 183.

4. Baker, I. Asphalt // Fifty Materials That Make the World, 2018, pp. 11-13.

5. Эфа А.К., Жураускас А.В., Акулов А.П., Галкин С.В., Осипов В.Н. // Международный научно-исследовательский журнал «Строительные материалы и изделия». 2003. №1. С. 22-23.

6. Иваньски М., Урьев Н.Б. Исследование процесса старения щебнемастичного асфальтобетона // Наука и техника в дорожной отрасли. 2002. №4. С. 26-29.

7. Оев А.М., Оев С.А., Салимбаев Е.К. Микрокристаллическая целлюлоза – стабилизирующая добавка для щебеночно-мастичного асфальтобетона // Наука и техника в дорожной отрасли. 2007. №4. С. 22-23.

8. Аминов Ш.Х., Струговец И.Б. Щебеночно-мастичный асфальтобетон на основе природного сырья и отходов промышленности // Международный научно-исследовательский журнал «Строительные материалы и изделия». 2007. №3. С. 40-41.



9. Немчинов М.В., Иваньски М. Применение в ШМА щебня из шлаков сталелитейного производства // Наука и техника в дорожной отрасли. 2007. №1. С. 20-23.

10. Ядыкина В.В., Куцина Н.П. Применение волокнистых отходов промышленности в производстве щебеночно-мастичных асфальтобетонов // Международный научно-исследовательский журнал «Строительные материалы и изделия». 2007. №5. С. 28-29.

### References

1. Nikolenko M.A., Besschetnov B.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2012, №1. URL: ivdon.ru/ru / magazine/archive/n2y2012/856/.

2. Xristoforova A.A., Filippov S.E., Gogolev I.N. Inzhenernyj vestnik Dona, 2011, №4. URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2011/599/.

3. Bell A.C., A.B. Wahaby Y., Cristime M. E., Sosnovske D. Washington D.C.: National Research Council, 1999, p. 183.

4. Baker, I. Fifty Materials That Make the World, 2018, pp. 11-13.

5. E`fa A.K., Zhurauskas A.V., Akulov A.P., Galkin S.V., Osipov V.N. Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal «Stroitelnye materialy i izdeliya». 2003. №1. pp. 22-23.

6. Ivan`ski M., Ur`ev N.B. Nauka i texnika v dorozhnoj otrasli. 2002. №4. pp. 26-29.

7. Oev A.M., Oev S.A., Salimbaev E.K. Nauka i texnika v dorozhnoj otrasli. 2007. №4. pp. 22-23.

8. Aminov Sh.X., Strugovecz I.B. Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal «Stroitelnye materialy i izdeliya».2007. №3. pp. 40-41.

9. Nemchinov M.V., Ivanski M. Nauka i texnika v dorozhnoj otrasli. 2007. №1. pp. 20-23.

10. Yadykina V.V., Kucina N.P. Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal «Stroitelnye materialy i izdeliya». 2007. №5. pp. 28-29.