

УДК 66.011

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЧАСТИЦ СТАРОГО АСФАЛЬТОБЕТОНА, ПОЛУЧЕННЫХ В ТОМ ЧИСЛЕ МЕТОДОМ ТЕРМОРАЗДЕЛЕНИЯ АГЛОМЕРАТОВ

Зайцев А.И., Лебедев А.Е., Бадаева Н.В., Романова М.Н.

*Ярославский государственный технический университет, Ярославль, e-mail: zaicevai07@mail.ru,
lae4444@gmail.com, souid@bk.ru, badaevanv@ystu.ru, romanovamn@ystu.ru*

В работе приводятся новые направления исследований по переработке старого асфальтобетона. Дается подробное описание нового способа получения асфальтобетонной смеси с использованием частиц старого асфальтобетона, заключающегося в том, что перед введением в разогретую крупнодисперсную минеральную часть смеси частиц старого асфальтобетона на них формируют оболочки из битума и минерального порошка. Частицы старого асфальтобетона и щебня эффективно смешиваются в смесителе ввиду сходства их размеров и плотности. Это исключает сегрегацию при смешивании. Приводится описание нового метода термического разделения агломератов старого асфальта, основанного на воздействии струей нагретого воздуха. Приведены подробные экспериментальные исследования по ситовому анализу полученного продукта – зерновому и массовому содержанию частиц. Показано, что интегральная функция распределения частиц по размерам согласуется с уравнением Розина – Раммлера.

Ключевые слова: измельчение, нагрев, асфальтобетон, частица, классификация, способ, асфальтобетон, оболочка

TECHNOLOGICAL PECULIARITIES OF PRODUCTION OF ASPHALT MIXTURE WITH PARTICLES OF THE OLD ASPHALT IS OBTAINED, INCLUDING THE METHOD OF ARMORSCALE AGGLOMERATES

Zaytsev A.I., Lebedev A.E., Badaeva N.V., Romanova M.N.

*Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, e-mail: zaicevai07@mail.ru, lae4444@gmail.com,
badaevanv@ystu.ru, romanovamn@ystu.ru*

In the work privdata new research directions for recycling old asphalt. A detailed description is given of a new method of obtaining the asphalt mix using particles of the old asphalt concrete, which consists in that before the introduction of heated coarse mineral part of a mixture of particles of the old asphalt on them form the shell of bitumen and mineral powder. Particles of the old asphalt and gravel effectively mixed in the mixer in view of the similarity in their size and density. This eliminates segregation during mixing. The description of a new method of thermal separation of the agglomerates of the old asphalt based on the impact of a jet of heated air. The detailed experimental studies on sotovomu the analysis of the obtained product is grain and the weight content of the particles. It is shown that the cumulative distribution function of the particles is consistent with the equation rosin-Rammler.

Keywords: grinding, heating, asphalt, particle classification, the method of asphalt concrete, shell

Данная работа посвящена исследованию и обоснованию двух направлений переработки и использования агломератов старого асфальтобетона в производстве асфальтобетонной смеси.

Традиционная технология получения асфальтобетонных смесей состоит в разогреве минеральной части, включающей крупную фракцию и мелкодисперсную (минеральный порошок). Далее осуществляется смешение разогретой минеральной части (щебня) с разогретым битумом.

Однородность асфальтовязующего, т.е. смеси минерального порошка с битумом, является важным фактором, от которого зависят физико-механические свойства конечного продукта – асфальтобетона.

В работе [5] описаны способ и установка изготовления наполнителя для асфальтобетона, по которым предполагается дробление

кусков старого асфальтобетона в молотковой дробилке до размера частиц не свыше 20 мм с разделением далее на фракции 5–20 мм и 0–5 мм. Предполагается последующее измельчение в электромагнитном измельчителе фракций 0–5 мм до размеров 0–1,2 и 1,2–5 мм. В технологической цепочке после молотковой дробилки установлен конвейер, грохот, два выносных транспортера. Использование данного способа связано с большими затратами энергии при получении мелких фракций частиц в электромагнитной установке и имеет низкую производительность, недостаточную для производства больших объемов старого асфальтобетона с целью дальнейшего применения.

Производство асфальтобетона с использованием продуктов переработки старого используется также в агрегате ДС-154 ВНИИСтройдормаша [3].

При работе агрегата поступающий на переработку материал подвергают вначале измельчению в щековой и молотковой дробилках. Полученный продукт направляют далее в сушильно-смесительный агрегат, куда одновременно поступает щебень, песок, минеральный порошок и битум. Как указано в источнике [3], недостатком в работе агрегата является тот факт, что старый асфальтобетон поступает в смеситель одновременно с каменными материалами и битумом. Вяжущее подвергается высокотемпературному воздействию, что негативно сказывается на свойствах асфальтобетона.

Авторами настоящей работы предложен метод получения асфальтобетона с использованием продуктов переработки старого, по которому обеспечивается экономия битума по отношению к стандартным смесям при достаточно высоких показателях прочности, водостойкости, долговечности и невысокой себестоимости продукции [8].

Указанный метод может быть реализован двумя путями. По первому направлению перед введением частиц предварительно раздробленного старого асфальтобетона в разогретую крупнодисперсную минеральную часть смеси проводится нанесение на частицы покрывающего состава в виде оболочки из смеси битума и минерального порошка, при соотношении минеральный порошок-битум от 1:3 до 1:6. Затем на поверхности полученных частиц формируется тонкий слой минерального порошка, причем соотношение старого асфальтобетона и материала оболочки составляет от 5:1 до 10:1. Содержание старого асфальтобетона составляет 10–20% по весу от крупнодисперсной минеральной части смеси. При подготовке смеси покрывающего состава битум в минеральный порошок вводится в распыленном состоянии. Толщина тонкого слоя минерального порошка на частицах материала составляет 1–2 мм, а материал из старого асфальтобетона с оболочкой поступает в разогретую крупнодисперсную часть смеси в разогретом состоянии.

Частицы старого асфальтобетона и щебня быстро смешиваются ввиду сходства их размеров и плотности. Это исключает также сегрегацию при смешении. В процессе смешивания покрытых тонким слоем минерального порошка частиц асфальтовяжущего материала с минеральной частью оба компонента представляют собой сыпучие материалы, что существенно снижает время перемешивания и затраты энергии по сравнению с известными способами. Причем как щебень с песком, так и старый гранулят смешиваются в нагретом, горячем состоянии.

Нанесение тонкого слоя на поверхность частиц исключает их слипание, в связи с чем их удобно хранить и транспортировать.

Нанесение тонкого слоя минерального порошка на поверхность частиц имеет двойной смысл. Во-первых, частицы старого асфальтобетона удобно направлять (без слипания) на смешение с нагретой крупнодисперсной смесью даже в случае удаления устройств формирования оболочек от смесителей с крупнодисперсной частью. Во-вторых, этот продукт удобно транспортировать в любой таре на большие расстояния для получения асфальтобетона в удаленной зоне. В-третьих, полученная на первой стадии смесь частиц старого асфальтобетона с минеральным порошком и битумом может самостоятельно использоваться, например, при ямочном ремонте или асфальтировании неответственных участков дорог.

Второе исследованное в данной работе направление – получение использованных частиц старого асфальтобетона в производстве нового заключается в детальном изучении термического разделения старого. С экономической точки зрения применение данного метода измельчения выгодно, и поэтому совершенствованию технологии этого процесса уделяется внимание в отечественной и зарубежной литературе [2, 10].

Основные теоретические исследования и практическое обоснование переработки старого асфальтобетона в целом широко представлены в работах А.П. Лупанова [5], где обоснована усовершенствованная технология двухстадийного измельчения – грубого и тонкого, как было сказано ранее, в качестве грубого измельчения предложено использовать молотковую дробилку, тонкого – принцип электромагнитного измельчения или ударного разрушения.

Вместе с тем известно, и это указано в [8], что при механическом воздействии на материал образуется вторичная структура из агрегированных частиц гранулята, то есть большая часть битума и минерального порошка находится внутри этих агрегатов. При использовании частиц в производстве новой асфальтобетонной смеси размещенное внутри частиц гранулята вяжущее не участвует в формировании новых структур ввиду его закупорки, что, по мнению многих авторов, составляет 1–1,2% битума.

Достижение же предельно плотной упаковки частиц в смеси в дисперсных системах, связанных с упрочнением, требует предельного разрушения структур с получением мелкодисперсных составляющих [8]. Применение механических способов измельчения гранулята с целью получения минимальных размеров частиц, необходимых для введения

в асфальтобетонную смесь, и высвобождение битума из гранул связано с дальнейшим совершенствованием технологии и оборудования и требует больших затрат энергии.

Одним из достаточно широко исследованных методов переработки старого асфальтобетона с целью дальнейшего использования является термическое воздействие [4], связанное с нагревом и разрушением (разделением) агломератов на составляющие частицы. Анализ известных методов терморазрушений гранулята достаточно широко приведен в работе [2].

В статье [4] предложен и обоснован метод разделения агрегатов старого асфальтобетона с помощью струй горячего воздуха с последующей классификацией частиц; здесь же описана конструкция установки для этих целей. При этом было показано, что использование метода позволяет провести процесс с минимальными затратами энергии в достаточно простом в конструктивном отношении аппарате, исключающем износ рабочих органов в отличие от способов механического измельчения.

При исследовании второго направления исследований опытных данных, направленных на анализ гранулометрического и массового состава продукта, образованного при терморазрушении агрегатов старого асфальтобетона с целью дальнейшего использования в производстве асфальтобетонной смеси.

В таблице приведены экспериментальные данные, полученные на ситах после терморазрушения и классификации.

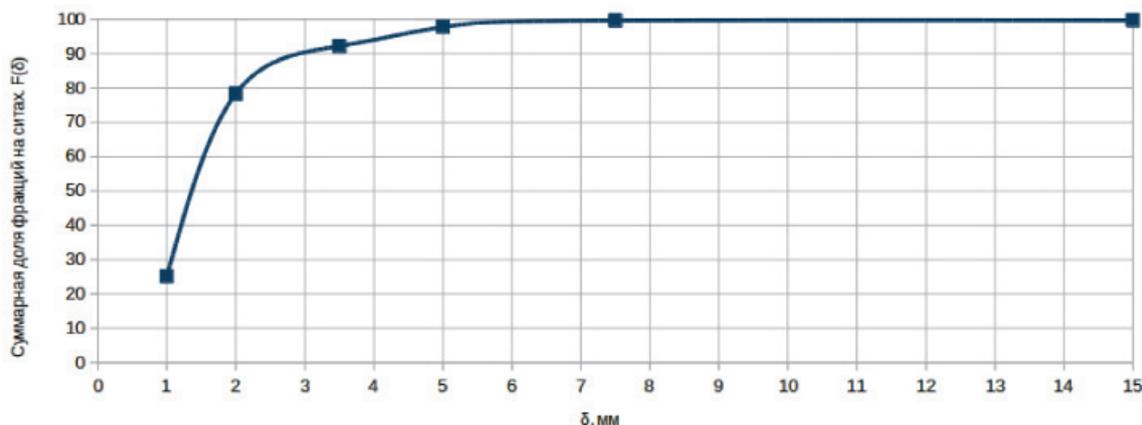
Вес исходного материала – 2 кг; вес материала после выжигания битума – 1,888 кг.

Всего частиц с $d = 0,5$ мм – 1,2%.

На рисунке показана полученная ситовым методом анализа интегральная кривая изменения гранулометрического состава при терморазложении на опытной установке [8].

В ряде источников [3, 9, 1, 6, 10] эту характеристику называют кривой полных остатков, по значению ординат на которой можно судить о числе частиц или их массе больше или меньше данного размера. Для анализа общего состава дисперсного материала часто используется медианный размер $\delta_{0,5}$, который соответствует

Размер отверстий на ситах	Общий вес материала на ситах, меньших данного размера отверстий	Общий вес материала на ситах, меньших данного размера отверстий, в %	Остатки по весу на ситах, %	Число частиц данного размера, в %
15	1,888	100		0,377
7,5	1,272	67,4	32,6	1,9
5,0	1,110	58,8	9,6	5,557
3,5	0,946	50	8,8	13,85
2,0	0,678	36	14	53,10
1,0	0,040	2,2	33,8	25,11



Интегральная кривая изменения гранулометрического состава при терморазложении

половине массы частиц больше или меньше $\delta_{0,5}$. Для рассмотренного в данной работе примера $\delta_{0,5} = 3,5$ мм. Проведение экспериментального исследования с некоторыми выборками старого асфальтобетона показывают, что в рассмотренных случаях интегральную функцию распределения $F(\delta)$ можно с достаточной точностью описать уравнением **Розина – Раммлера** [10]:

$$F(\delta) = 1 - e^{-\frac{\delta}{k}}, \quad (1)$$

где k – константа, определяемая свойствами материала. В работе [6] уравнение **Розина – Раммлера** представлено в ином виде, более удобном для обработки опытных данных:

$$F(\delta) = \exp \left[-\ln 2 \left(\frac{\delta}{\delta_{0,5}} \right)^{n_R} \right], \quad (2)$$

Коэффициент n_R находится по двум опытным значениям $F_1(\delta_1)$ и $F_2(\delta_2)$.

Статистическая обработка данных для подтверждения принятому распределению частиц проводилась в работе по критерию Пирсона [10]. При этом весь интервал размеров разбивается на 6 интервалов в соответствии с системным анализом; число степеней свободы находили – $6 - 1 = 5$. В соответствии с вычисленными значениями критерия Пирсона χ^2 и числом степеней свободы определялась доверительная вероятность попадания размеров частиц в соответствующий интервал. Средний диаметр частиц в опыте:

$$\delta_{cp} = \sum_{i=1}^6 \frac{\delta_i \alpha}{100}, \quad (3)$$

где δ_i – размер частиц на ситах; α – доля частиц данного размера в %. В нашем случае имеем $\delta_{cp} = 2,3$ мм.

Как показали опытные данные, значительную часть, около 80% от общего числа, составляют мелкие частицы 0,5–1,5 мм. Их можно рекомендовать использовать, во-первых, в качестве наполнителя нового асфальтобетона. Во-вторых, следует учесть, что в этой мелочи присутствуют частицы чистого (старого) битума и его применение позволяет экономить вяжущее [8]. На основании про-

веденного цикла исследований можно отметить следующие выводы и результаты:

- показано, что предварительная переработка агломератов старого асфальтобетона, связанная с формированием на частицах оболочек из битума и наполнителя, технологически упрощает производство асфальтобетонной смеси, снижает время процесса и энергозатраты;

- полученные комплексные (с оболочками) частицы удобно хранить и транспортировать для производства асфальтобетонной смеси в удаленной зоне;

- использование метода терморазделения старого асфальтобетона горячим воздухом и последующей классификации позволило при небольших затратах энергии выделить вяжущее из исходных агрегатов с целью его дальнейшего применения в производстве нового асфальтобетона;

- анализ экспериментальных данных показал, что интегральная функция распределения числа частиц по размерам с достаточной степенью точности согласуется с уравнением **Розина – Раммлера**;

- в продуктах разделения старого асфальтобетона присутствует значительное количество (до 80%) мелких частиц, которые могут быть использованы в качестве наполнителя в новом асфальтобетоне;

- средние размеры частиц, полученные методом разогрева и классификации на ситах, находятся в пределах значений, которые имеют место при двухстадийном механическом измельчении;

- незначительную часть крупных частиц с целью дальнейшего применения в производстве асфальтобетона можно использовать после вторичной переработки измельчением.

Список литературы

1. Алиев А.М. Регенерация асфальтобетона. – Баку: Азербайджанское Государственное издательство, 1985. – 275 с.
2. Анализ методов разогрева агломератов «старого» асфальтобетона и описание струйного способа / А.И. Зайцев, А.Е. Лебедев, Н.В. Бадаева, М.Н. Романова // Инженерный вестник Дона. – 2015. – № 2, ч.2; URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2p2y2015/3052 (дата обращения: 28.06.2015).
3. Арабов Р.Б. Автореферат дис. ... канд. техн. наук. Союздор НИИ. – М., 1988.
4. Лебедев А.Е. Опытное исследование и анализ продуктов термического разделения «старого» асфальтобетона струйным методом / А.Е. Лебедев, А.И. Зайцев, И.С. Шеронина, Н.В. Бадаева // Современные наукоемкие технологии. – М., 2015. – № 12 (часть 2). – С. 37–39.
5. Лупанов А.П. Влияние свойств асфальтового гранулята на эффективность его измельчения для повторного использования / А.П. Лупанов, Т.И. Кондратьева, А.И. Басов. – М.: РАСХН, 2006. – 57с.
6. Мизонов В.Е. Аэродинамическая классификация порошков / В.Е. Мизонов, С.Г. Ушаков, Е.В. Барочкин. – Иваново: ПресСто, 2014. – 260 с.

7. Патент 2346103 Российская Федерация С1, ЕО1 С 19/10 способ и установка изготовления наполнителя для асфальтобетона / Лупанов А.П и др. Оpubl. 1.029.

8. Пат. 2467039 Российская Федерация, С08L95/00 Способ получения асфальтобетонной смеси с использованием продуктов переработки старого асфальтобетона / А.И. Зайцев, А.Е. Лебедев, В.М. Готовцев. Оpubl. 20.11.2012.

9. Ребиндер П.А. Поверхностные явления в дисперсных системах. Физико-химическая механика // Издание труды. – М.: Наука, 1979. – 384 с.

10. Румиф Г. Об основных физических проблемах при измельчении // Тр. Европейского совещания по измельчению. – М.: Стройиздат, 1966. – С. 7–40.

References

1. Aliev A.M. Regeneraciya asfaltobetona. Baku: Azerbajdzhanskoe Gosudarstvennoe izdatelstvo, 1985. 275 p.

2. Analiz metodov razogreva aglomeratov «starogo» asfaltobetona i opisaniye strujnogo sposoba / A.I. Zajcev, A.E. Lebedev, N.V. Badaeva, M.N. Romanova // Inzhenernyj vestnik Dona. 2015. no. 2 ch.2; URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2p2y2015/3052 (data obrashcheniya: 28.06.2015).

3. Arabov R.B. Avtoreferat diss.kand.tekhn.nauk. Soyuzdor NII. M., 1988.

4. Lebedev A.E. Opytnoe issledovanie i analiz produktov termicheskogo razdeleniya «starogo» asfaltobetona strujnym metodom / A.E. Lebedev, A.I. Zajcev, I.S. SHERONINA, N.V. Badaeva // Sovremennye naukoemkie tekhnologii. M., 2015. no. 12 (chast 2), pp. 37–39.

5. Lupanov A.P. Vliyaniye svojstv asfaltovogo granulyata na ehffektivnost ego izmelcheniya dlya povtornogo ispolzovaniya / A.P. Lupanov, T.I. Kondrateva, A.I. Basov. M.: RASKHN, 2006. 57 p.

6. Mizonov V.E. Aehrodynamiceskaya klassifikaciya poroshkov V.E. Mizonov, S.G. Ushakov, E.V. Barochkin. Ivanovo: PresSto, 2014 260 p.

7. Patent 2346103 Rossijskaya Federaciya S1, EO1 S 19/10 sposob i ustanovka izgotovleniya napolnitelya dlya asfaltobetona, Lupanov A.P. i dr. Opubl. 1.029.

8. Pat. 2467039 Rossijskaya Federaciya, C08L95/00 Sposob polucheniya asfaltobetonnoj smesi s ispolzovaniem produktov pererabotki starogo asfaltobetona / A.I. Zajcev, A.E. Lebedev, V.M. Gotovcev. Opubl. 20.11.2012.

9. Rebindler P.A. Poverhnostnye yavleniya v dispersnyh sistemah. Fiziko-himicheskaya mekhanika // Izdanie trudy. M.: Nauka, 1979. 384 p.

10. Rumif G. Ob osnovnyh fizicheskikh problemah pri izmelchenii // Tr.Evropejskogo soveshchaniya po izmelcheniyu. M.: Strojizdat, 1966. pp. 7–40.