

УДК 625.73

С. В. Алексиков, А. И. Лескин, Д. И. Гофман, Л. М. Лескина, И. И. Глазунов

Волгоградский государственный технический университет

ПРОИЗВОДСТВО АСФАЛЬТОГРАНУЛОБЕТОНА НА АБЗ

При выполнении ремонтных работ на улично-дорожной сети производится фрезерование асфальтобетонного покрытия. В настоящее время существует целесообразность повторного использования асфальтогранулята. В статье приведены физико-механические характеристики асфальтогранулята, прочностные свойства асфальтогранулобетона, рекомендации по производству асфальтогранулобетонной смеси на асфальтобетонных заводах по горячей технологии.

Ключевые слова: ремонт, дорожное покрытие, асфальтогранулят, асфальтогранулобетонная смесь, асфальтогранулобетон, асфальтобетонный завод.

До 80 % объема финансирования городского дорожного хозяйства г. Волгограда приходится на ремонт улично-дорожной сети (УДС). Основным материалом для ремонта проезжей части являются асфальтобетонные смеси, стоимость которых составляет 3...3,5 тыс. руб./т. Последняя ежегодно увеличивается на 3...19,4 % из-за роста цен на энергоносители, материалы и логистику. Резервом для снижения стоимости ремонтных работ до 20 % является использование асфальтогранулята (АГ), получаемого путем фрезерования дорожного покрытия¹ (рис. 1) [1—5].



Рис. 1. Фрезерование дорожного покрытия на пр. Университетский, Волгоград

¹ ОДМ 218.6.1.005—2021. Методические рекомендации по восстановлению асфальтобетонных покрытий и оснований автомобильных дорог методом холодной регенерации. М., 2021. 38 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573741135>.

ОС-568-р. Методические рекомендации по восстановлению асфальтобетонных покрытий и оснований автомобильных дорог способами холодной регенерации. М., 2002. 25с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200030849>.

ГОСТ 55052—2012. Гранулят старого асфальтобетона. Технические условия. М. : Стандартинформ, 2013. 61 с.

НСТ 244—2019. Переработанный асфальтобетон (RAP). Технические условия. М. : Стандартинформ, 2011. 22 с.

Объем АГ, получаемого при ремонте дорог Волгограда, составляет 100...150 тыс. т/год, что позволяет отремонтировать 940...1470 тыс. м² покрытия. Технология повторного использования АГ нашла применение в РФ и за рубежом, где объем асфальтогранулобетона (АГБ) составляет 20...30 % от общего количества выпускаемых смесей, доля гранулята в составе обновленных смесей достигает 80 %² [1—4, 6—10]. Повторное использование старого асфальтобетона в дорожном покрытии возможно по «горячей» и «холодной» технологиям. Холодная технология предполагает получение обновленной асфальтобетонной смеси на объекте или асфальтобетонном заводе (АБЗ) без нагрева исходных материалов³ [6, 12]. Холодная переработка старого асфальта при ремонте городских дорог путем его ресайклирования на объекте невозможна из-а наличия на проезжей части бордюров и ливневой канализации. Кроме того, движение крупногабаритных ресайклеров в стесненных условиях городской застройки и сложной конфигурации УДС затруднено. Производство асфальтогранулобетонных смесей (АГБС) на АБЗ по холодной технологии не позволяет полностью восстановить свойства асфальтобетонных смесей и ограничивает их применение в покрытиях автомагистралей [1, 3]. Сравнительный анализ физико-механических свойств АГБС показывает преимущества смесей, приготовленных по горячей технологии на АБЗ (рис. 2, 3).

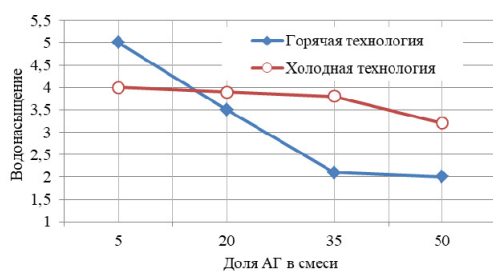


Рис. 2. Водонасыщение АГБС

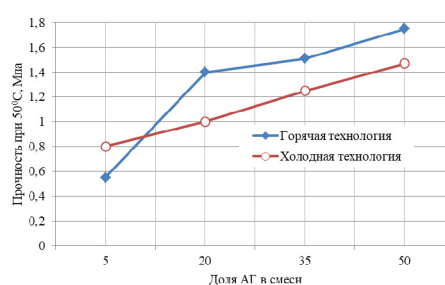


Рис. 3. Прочность АГБС при 50 °С

Производственный опыт и анализ свойств АГБ, приготовленных на АБЗ по горячей технологии, позволяет сделать следующие выводы:

- снижение показателей водонасыщения АГБ можно объяснить тем, что в АГ уже содержатся зерна, обработанные вяжущим. По данным А. С. Колбановской [13], в процессе поликонденсации возрастает адсорбция битума, по мере старения асфальтобетона увеличивается вязкость битума и прочность, что способствует увеличению водостойкости. Следует отметить более интенсивное повышение водостойкости АГБ при предварительном прогреве АГ;
- с увеличением количества АГ наблюдается снижение показателей предела прочности АГБ при сжатии при 0 °С и трещиностойкости. Это связано с увеличением количества состарившегося вяжущего в асфальтобетоне;

² СТБ 1705—2006. Асфальтогранулят для транспортного строительства. Технические условия. Минск, 2006. 36 с. URL: <https://stroystandart.info/index.php?name=files&op=view&id=3910>.

Асфальтобетон с использованием асфальтогранулята. URL: <http://www.uadso.ru/news/technews/182/187>.

³ Там же.

- увеличение количества гранулята ведет к падению коэффициента внутреннего трения. Наблюдается повышение показателя коэффициента сцепления при сдвиге АГБС при температуре 50 °С в результате повышения вязкости битума за счет объединения нового и старого вяжущего;

- с увеличением количества АГ наблюдается возрастание показателя предела прочности при сжатии при температурах 20 и 50 °С. Для асфальтобетонных смесей с горячей подачей асфальтогранулята характерны более высокие значения физико-механических показателей, что обусловлено лучшей обволакиваемостью и однородностью в процессе перемешивания.

Восстановленная горячая смесь соответствует требованиям ГОСТ 9128—2013 к асфальтобетонам⁴ и позволяет использовать АГБС в нижних слоях дорожного покрытия⁵.

При проектировании слоев дорожного покрытия важно знать расчетные прочностные характеристики АГБ. Модуль упругости АГБ (E_y) зависит от температуры покрытия (T) и типа вяжущего, используемого при восстановлении свойств смеси⁶ [5]:

$$E_y = AT^2 + BT + C, \quad (1)$$

где A, B, C — коэффициенты уравнения, принимаются по табл. 1.

Таблица 1

Значения коэффициентов уравнения (1)

Тип АГБ	Значение коэффициентов			Тип вяжущего
	A	B	C	
Э, В	95,179	1077,4	3509	Битумная эмульсия, вспененный битум
Б	80,357	918,79	2992	Разогретый битум

Среднее значение сопротивления растяжению АГБ при изгибе $R_{\text{и}}$ зависит от модуля упругости E_y^0 при температуре покрытия 0 °С (рис. 4).

⁴ ГОСТ 9128—2013. Смесей асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200108509>.

⁵ СТО НОСТРОЙ 2.25.35—2011. Строительство оснований с использованием асфальтобетонного гранулята. М.: БСТ, 2012. 22 с.

СТО АВТОДОР 2.7—2016. Применение асфальтогранулята в асфальтобетонных смесях и конструктивных слоях дорожной одежды. Технические условия. М., 2016. 29 с. URL: https://www.npfselena.ru/wp-content/uploads/2020/01/sto-2.7-2016_rap-use-standard_autodor.pdf.

⁶ ОДМ 218.6.1.005—2021. Методические рекомендации по восстановлению асфальтобетонных покрытий и оснований автомобильных дорог методом холодной регенерации. М., 2021. 38 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573741135>.

ОС-568-р. Методические рекомендации по восстановлению асфальтобетонных покрытий и оснований автомобильных дорог способами холодной регенерации. М., 2002. 25 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200030849>.

СТО АВТОДОР 2.7—2016. Применение асфальтогранулята в асфальтобетонных смесях и конструктивных слоях дорожной одежды. Технические условия. М., 2016. 29 с. URL: https://www.npfselena.ru/wp-content/uploads/2020/01/sto-2.7-2016_rap-use-standard_autodor.pdf.

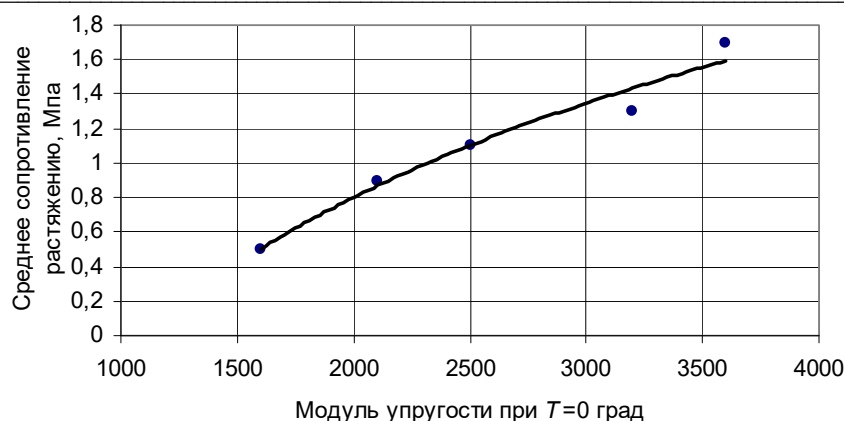


Рис. 4. Зависимость сопротивления растяжению от модуля упругости материала

Анализ исследований [1—3] позволил выделить особенности производства АГБС на АБЗ. Горячая переработка АГ имеет следующие преимущества:

- возможность постоянного контроля качества компонентов смеси;
- регулирование рецептуры смеси с учетом состава используемого гранулята;
- возможность использования до 80 % АГ без снижения рецептурных свойств новой асфальтобетонной смеси.

К недостаткам горячей переработки АГ следует отнести:

- дополнительные затраты на перевозку АГ с объекта на АБЗ;
- высокая энергоемкость сушки и нагрева компонентов асфальтобетонной смеси;
- наличие канцерогенных углеводородов и минеральной пыли в дымовых выбросах.

При организации выпуска горячих смесей на АБЗ следует учитывать, что в процессе длительного хранения на открытых площадках АГ увлажняется атмосферными осадками и постепенно теряет свои свойства в результате испарения легких фракций вяжущего. Повышенная влажность материала требует дополнительных энергозатрат на его сушку и нагрев до 120...225 °С. Энергозатраты на приготовление АГБС в установке соответственно увеличиваются на 20...85 %. Поэтому хранить АГ следует под навесами в конусах высотой до 2 м. Производство АГБС на заводах практически не отличается от технологии выпуска стандартных асфальтобетонных смесей, однако имеет ряд особенностей. Температура нагрева минеральных материалов (T_M) зависит от температуры готовой смеси на выходе (T_C), доли АГ (α) и влажности минеральной части (W):

$$T_M = 4,79 \cdot T_C^{0,872} \cdot \alpha^{0,317} \cdot W^{0,02}. \quad (2)$$

Увеличение доли АГ с 10 до 50 % требует увеличения температуры нагрева минеральной части от 120 до 210 °С.

На объектах дорожного хозяйства эксплуатируются преимущественно асфальтосмесительные установки циклического действия компаний России, Украины, Германии, Италии, Испании, Финляндии, Китая и др. [3, 4].

Их количество в структуре парка асфальтосмесительного оборудования превышает 90 %. В настоящее время для России целесообразна модернизация установок циклического действия для реализации технологии заводского производства асфальтобетонных смесей с использованием АГ. Преимущество данной технологии заключается в возможности применения существующих асфальтосмесительных установок без их значительного переустройства.

Приготовление АГБС с добавлением разогретого битума производится путем подачи АГ в срединную часть сушильного барабана (рис. 5) или с использованием сдвоенного сушильного барабана (рис. 6).

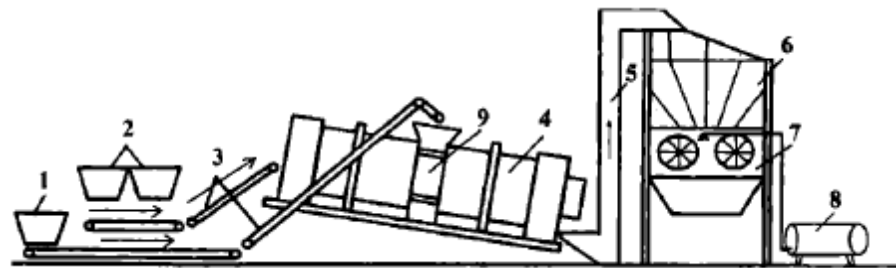


Рис. 5. Технологическая схема приготовления АГБС с подачей АГ в среднюю часть сушильного барабана: 1 — асфальтовый гранулят; 2 — новые минеральные материалы; 3 — транспортер; 4 — сушильный барабан; 5 — элеватор; 6 — сортировочный грохот; 7 — смеситель; 8 — битум; 9 — кольцо рециркуляции

Наиболее распространена в производственной практике переработка с добавлением гранулята в асфальтобетонную смесь в количестве до 30 % путем подачи в среднюю часть сушильного барабана. Такое оборудование выпускают ведущие зарубежные производители Benninghoven, Amomatic, Bernardi и др. Полученные при этом смеси, как правило, характеризуются высокой неоднородностью и ухудшением технологических свойств за счет использования старого битума в АГ.

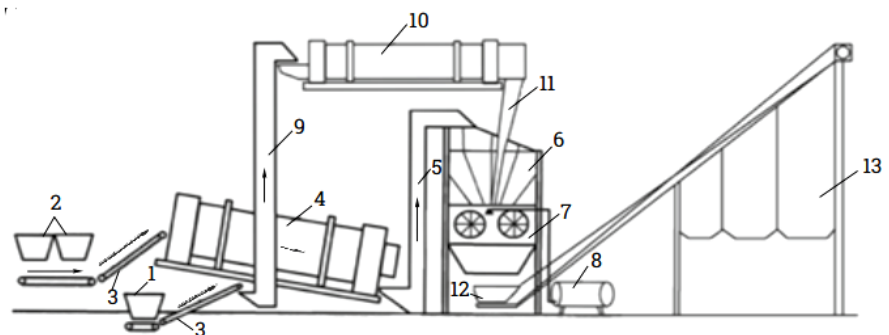


Рис. 6. Технологическая схема приготовления АГБС с использованием сдвоенного сушильного барабана: 1 — бункер-питатель гранулята; 2 — бункеры-питатели новых минеральных материалов; 3 — транспортеры; 4 — основной сушильный барабан; 5 — горячий элеватор; 6 — сортировочный грохот; 7 — смеситель; 8 — цистерна битума; 9 — элеватор подачи гранулята; 10 — сушильный барабан для гранулята; 11 — лоток подачи гранулята; 12 — скиповый подъемник; 13 — накопительный бункер

Добавление АГ приводит к снижению подвижности и уплотняемости асфальтобетонной смеси, к ухудшению прочностных и деформационных свойств асфальтобетона. Снижается срок службы асфальтобетона по критерию усталостной повреждаемости [14]. Наиболее резкое снижение усталостной повреждаемости наблюдается у образцов с содержанием асфальтогранулята более 20 % (рис. 7). Одной из причин снижения долговечности асфальтобетона является недостаточная активность используемого АГ, т. е. способность вяжущего в его составе образовывать после нагрева и последующего остывания прочные связи, выдерживающие многократную транспортную нагрузку.

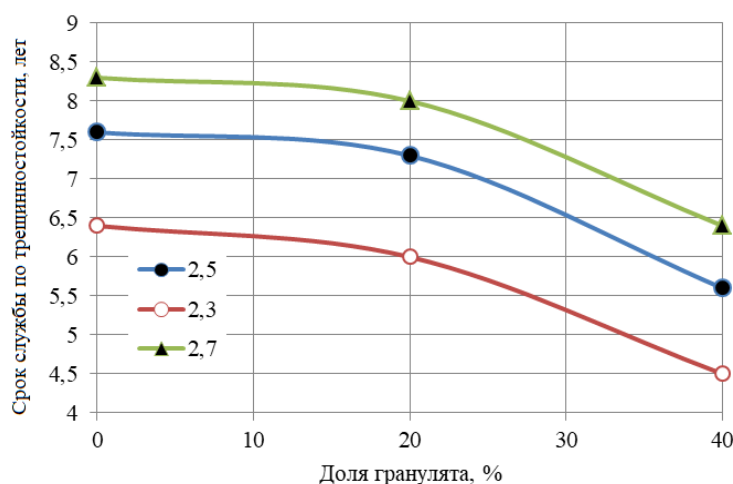


Рис. 7. Влияние гранулята на долговечность асфальтогранулобетона

Дополнительный нагрев при приготовлении смесей еще более интенсифицирует процессы старения вяжущего, находящегося на поверхности минеральных зерен в тонких пленках. При этом происходит и более интенсивное выделение выбросов вредных веществ (оксидов азота, углерода, оксида и диоксида серы и т. д.), которые не улавливаются системой очистки отходящих газов (рис. 8). Количество выбросов зависит от температуры материалов при их нагреве в сушильном барабане.

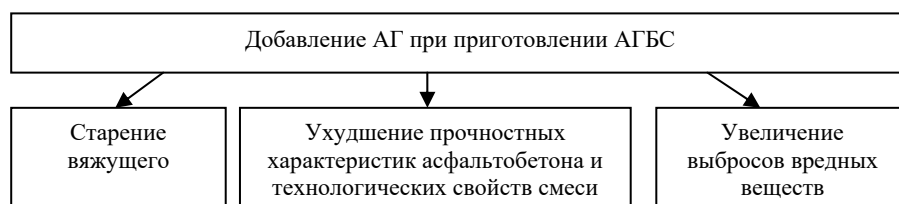


Рис. 8. Влияние гранулята на свойства асфальтогранулобетона

Улучшить свойства асфальтобетона возможно за счет дробления и сортировки гранулята, а также за счет применения специальных добавок ПАВ, позволяющих регулировать свойства вяжущего на поверхности асфальтовых гранул [2, 14, 15]. Так как гранулят получается путем фрезерования старого

покрытия, он имеет однородно измельченную массу. Поэтому совершенствование технологии приготовления и укладки асфальтобетонных смесей с добавлением гранулята возможно за счет введения комплексных добавок ПАВ, обеспечивающих улучшение технологических свойств (удобоукладываемость, уплотняемость) асфальтобетонных смесей и физико-механических свойств асфальтобетона (рис. 9).

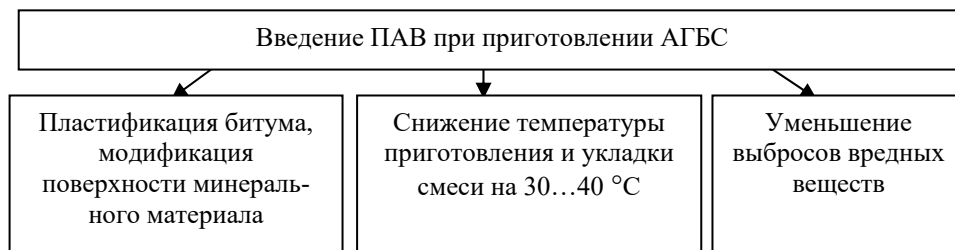


Рис. 9. Влияние добавок ПАВ на свойства АГБС

Использование добавок позволяет уменьшить температуру приготовления и укладки смесей, что положительно влияет на свойства битума и снижает выбросы вредных веществ [2].

В процессе приготовления АГБС образуются мономолекулярные слои ПАВ на поверхности битумных пленок, покрывающих минеральные зерна и частицы гранулята, а также на необработанных битумом поверхностях минерального материала (рис. 10). Это приводит к снижению прочности коагуляционных и фазовых контактов, улучшению деформационных свойств, повышению адгезии вяжущего и водостойкости асфальтогранулобетона. Улучшение технологических свойств при введении добавок ПАВ позволяет уменьшить температуру приготовления смеси, сократить количество выбросов и обеспечить требуемое качество уплотнения смеси в покрытии. Результаты исследований [1, 2] свидетельствуют о том, что применение таких добавок, как Evoterm J-1, Rediset WMX, CCBit 113 AD, ДАД-1 и др., улучшает водостойкость асфальтобетона и оптимизирует его прочностные показатели (рис. 11, 12). Это объясняется образованием развитого ориентированного мономолекулярного слоя на поверхности минеральных частиц и асфальтовых гранул, а как следствие — уменьшением трения между ними при уплотнении.



Рис. 10. Распределение ПАВ по поверхности битумных пленок на зернах минеральной части смеси и гранулята

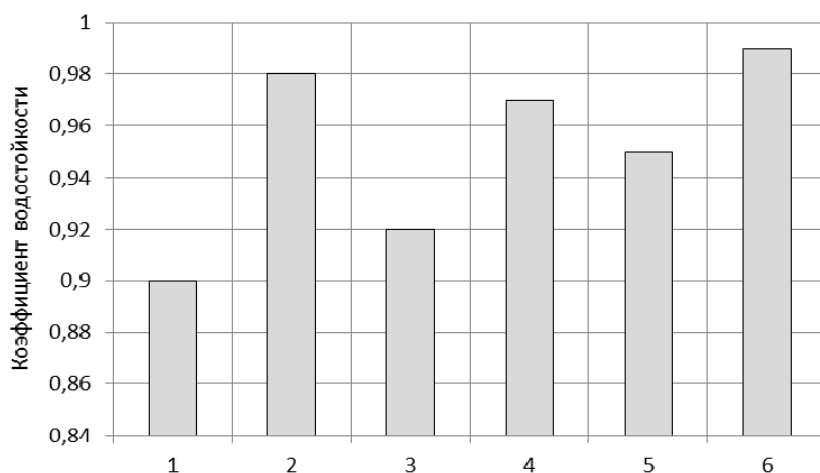


Рис. 11. Коэффициентов водостойкости для АГБ: 1 — без добавок; с добавками: 2 — Evoterm J-1; 3 — Rediset WMX; 4 — ДАД-1; 5 — «Адгезол 3-ТД»; 6 — Sylvaroad

Технологические свойства асфальтобетонной смеси с гранулятом и добавками в лабораторных условиях оценивались по ее уплотняемости при различных уплотняющих нагрузках. Данные исследований [1, 2] показывают, что введение добавок ПАВ в состав мелкозернистой асфальтобетонной смеси (рис. 13) с содержанием гранулята до 30 %, позволяет достичь заданной плотности при снижении температуры приготовления и уплотнения смеси.

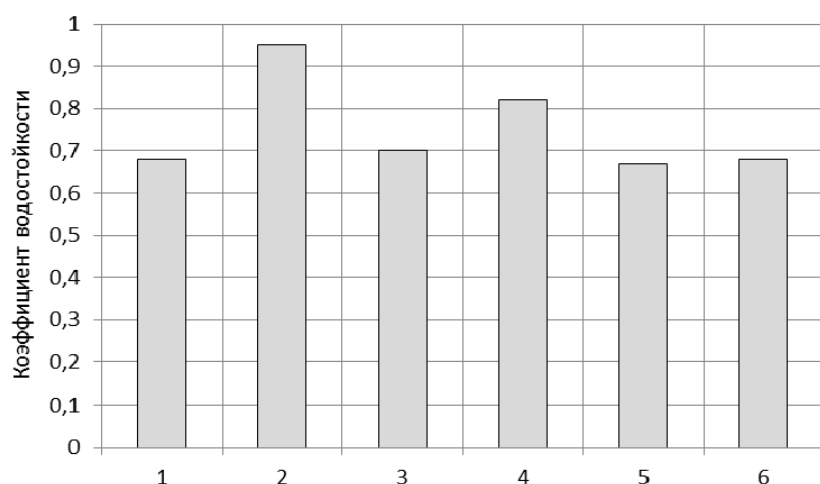


Рис. 12. Коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении для АГБ: 1 — без добавок; с добавками: 2 — Evoterm J-1; 3 — Rediset WMX; 4 — ДАД-1; 5 — Адгезол 3-ТД; 6 — Sylvaroad RP1000

Опыт АБЗ Москвы, Санкт-Петербурга, других регионов России подтвердил, что при использовании различных вариантов подачи гранулята в смесительную установку, лучшие результаты получают при его добавлении в дробленом виде в количестве 15...30 % от массы регенерированной смеси [2—4]. На АБЗ-4 «Капотня» (Москва) реализована технология с установкой

дополнительного барабана (рис. 14), обеспечивающая качественное приготовление АГБС при высоком содержании гранулята.

Следует отметить, что в ряде моделей асфальтосмесительных установок непрерывного действия подача дробленого гранулята при приготовлении асфальтобетонной смеси может достигать 50...70 % от массы регенерированной смеси, что больше, чем при применении установок циклического действия [3].

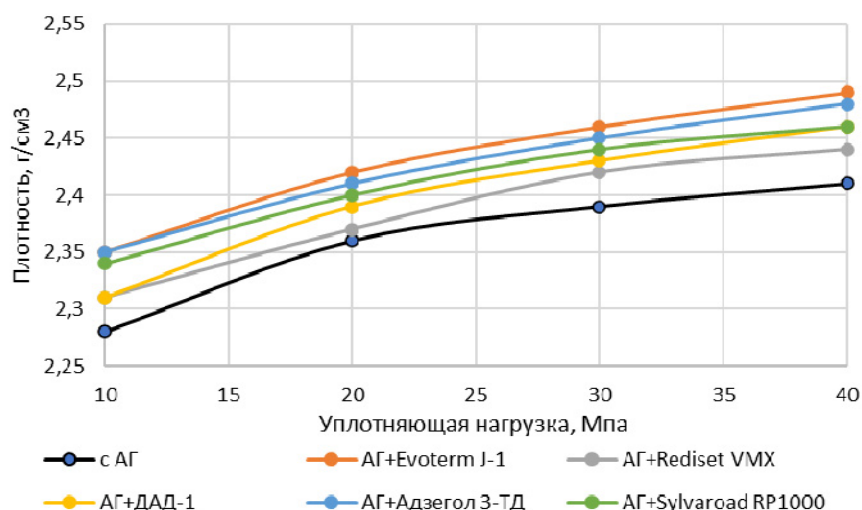


Рис. 13. Зависимость плотности АГБС от уплотняющей нагрузки ($t = 100 \dots 110 \text{ }^{\circ}\text{C}$)



Рис. 14. Асфальтосмесительная установка циклического действия со сдвоенным сушильным барабаном, АБЗ-4 «Капотня», Москва

Выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Резервом снижения стоимости ремонта городских магистралей Волгограда является использование переработанного старого асфальтобетона, получаемого в виде АГ после фрезерования дорожного покрытия. Объем АГ на объектах города составляет 100...150 тыс. т/год.
2. Назрела необходимость в производстве горячих АГБС на АБЗ города.
3. Возможно производство АГБС с добавлением гранулята до 30 % на установках циклического действия без значительного переустройства технологического оборудования. Для повышения качества смесей эффективно использование добавок Evoterm J-I, Rediset WMX, CCBit 113 AD, ДАД-1 и др., способствующих снижению температуры смеси на 30...40 °С, повышению удобоукладываемости и уплотняемости смесей, водостойкости и прочности асфальтобетона, снижению вредных выбросов в окружающую среду.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Черных Д. С., Строев Д. А., Задорожный Д. В., Горелов С. В. Оценка влияния количества асфальтогранулята и технологии его подачи на свойства приготавливаемых асфальтобетонных смесей // Инженерный вестник Дона. 2013. № 4(27). С. 196.
2. Гладышев Н. В. Совершенствование технологии приготовления и укладки асфальтобетонных смесей с добавлением гранулята старого асфальтобетона: автореф. дис... к. т. н.. М., 2015. 24 с.
3. Лупанов А. П., Силкин В. В. Повторное использование асфальтобетона на АБЗ: монография. М. : Экон-Информ, 2019. 191 с.
4. Повторное использование гранулята старого асфальтобетона / А. П. Лупанов, Н. В. Гладышев, А. В. Силкин, В. В. Силкин, В. В. Рудакова // Дороги России. 2018. № 1(103). С. 100—107.
5. Алексиков С. В., Бударудинова А. Н. Использование фрезерованного асфальтобетона для укрепления обочин автомобильных дорог // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 10: Инновационная деятельность. 2012. Вып. 7. С. 40—45.
6. Бахрах Г. С. Свойства асфальтогранулобетона (АГБ) — продукта холодной регенерации дорожных одежд с асфальтобетонным покрытием // Науч.-техн. информ. сб. Вып. 12. М. : Информавтодор, 1999. 32 с.
7. M VAG. Руководство по применению асфальтобетонной крошки. FGSV Verlag, Кельн, 2000.
8. Epps J. A., Terrel R. L., Little D. N., Holmgren R. J. Guidelines for recycling asphalt pavements // Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists. 1980. Vol. 49. Pp. 144—176.
9. Symposium Recycling of Asphalt Pavement // Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists. 1997. Vol. 49. Pp. 685—802.
10. Kanhal P. S., Mallick R. B. Development of Rational and Practical Mix Design System for Full Depth Reclaimed (FDR) Mixes // University of New Hampshire. Final Report. 2002. Pp. 1—103.
11. Wilson G., Williams G. Pavement bearing capacity computed by theory of layered systems // Proceedings of the American Society of Civil Engineers. 1950. Vol. 76. No. 16. Pp. 85—98.
12. Сюньи Г. К., Усманов К. Х., Файнберг Э. С. Регенерированный дорожный асфальтобетон. М. : Транспорт, 1984. 118 с.
13. Колбановская А. С., Михайлов В. В. Дорожные битумы. М. : Транспорт, 1973. 263 стр.
14. Игошкин Д. Г., Кравченко С. Е. Активность асфальтогранулята — фактор, определяющий эффективность его применения в асфальтобетонных смесях // Автомобильные дороги и мосты. 2016. № 2(18). С. 67—70.
15. Штабинский В. В., Скворцов Е. А., Гракович Д. П. Исследования агрегатного и зернового состава асфальтогранулята // Автомобильные дороги и мосты. 2008. № 2. С. 68—72.

© Алексиков С. В., Лескин А. И., Гофман Д. И., Лескина Л. М., Глазунов И. И., 2024

Поступила в редакцию
в январе 2024 г.

Ссылка для цитирования:

Производство асфальтогранулобетона на АБЗ / С. В. Алексиков, А. И. Лескин, Д. И. Гофман, Л. М. Лескина, И. И. Глазунов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2024. Вып. 2(95). С. 54—64. DOI: 10.35211/18154360_2024_2_54.

Об авторах:

Алексиков Сергей Васильевич — д-р техн. наук, проф., зав. каф. строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; AL34rus@mail.ru

Лескин Андрей Иванович — канд. техн. наук, доц., доц. каф. строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; leskien@inbox.ru

Гофман Дмитрий Иванович — канд. техн. наук, доц., доц. каф. строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; obsov2012@mail.ru

Лескина Лейла Муаз — аспирант каф. строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая; leylamuaz@yandex.ru

Глазунов Илья Игоревич — инженер каф. строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; glazunov.i@list.ru

Sergei V. Aleksikov, Andrei I. Leskin, Dmitrii I. Gofman, Leila Muaz Leskina, Ilya I. Glazunov

Volgograd State Technical University

PRODUCTION OF RECLAIMED ASPHALT CONCRETE AT A PLANT

When performing repair work on the road network, the asphalt concrete pavement is milled. Currently, it is advisable to reuse reclaimed asphalt pavement. This article provides the physical and mechanical characteristics of reclaimed asphalt pavement (RAP) aggregates, the strength properties of RAP mixtures, recommendations for the production of RAP mixtures at asphalt concrete plants using hot technology.

Key words: repair, road surface, asphalt granulate, asphalt granulated concrete mix, asphalt granulated concrete, asphalt concrete plant.

For citation:

Aleksikov S. V., Leskin A. I., Gofman D. I., Leskina L. M., Glazunov I. I. [Production of reclaimed asphalt concrete at a plant]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2024, iss. 2, pp. 54—64. DOI: 10.35211/18154360_2024_2_54.

About authors:

Sergei V. Aleksikov — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; AL34rus@mail.ru

Andrei I. Leskin — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; leskien@inbox.ru

Dmitrii I. Gofman — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; obsov2012@mail.ru

Leila Muaz Leskina — Postgraduate Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya str., Volgograd, 400074, Russia; leylamuaz@yandex.ru

Ilya I. Glazunov — Engineer, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; glazunov.i@list.ru