

УДК: 625.855.3
DOI: 10.48612/NewsKSUAE/67.6
EDN: HJQTES



Обоснование выбора асфальтогранулобетонных смесей типов М и К с позиции совместной работы слоев основания и покрытия дорожной одежды

В.С. Лесовик¹, В.П. Денисов¹, М.Д. Кабалин¹, М.А. Высоцкая¹

¹ Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Российская Федерация

Аннотация: *Постановка задачи.* Динамичное и устойчивое развитие дорожно-строительного сектора требует инновационного развития и перехода к технологиям «зеленого развития», подразумевающим снижение воздействия на окружающую среду и уменьшение углеродного следа, а также реформ в сфере производства экологически чистых, экономичных строительных материалов и технологии работы с ними. Технология холодного ресайклинга отвечает вызовам современности. Однако в настоящее время находится на стадии своего становления и требует активности в области исследований о преимуществах и недостатках того или иного вида асфальтогранулобетона, его долговечности и совместной работы с асфальтобетоном. Цель работы заключается в изучении и сравнительном анализе асфальтогранулобетонов типов М и К с позиции физико-механических и эксплуатационных свойств, а также оценки их совместной работы с асфальтобетоном в конструкции дорожных одежд автомобильных дорог. Задачами исследования являются: исследование влияния минерального и комплексного вяжущих на физико-механические и эксплуатационные показатели асфальтогранулобетона; оценка влияния методологии подбора и испытания композитов; анализ эффективности совместной работы асфальтогранулобетонов типов М и К с асфальтобетоном.

Результаты. В работе представлены результаты исследований асфальтогранулобетонов типов М и К подобранных и испытанных по двум различным методикам. Полученные данные продемонстрировали, что асфальтогранулобетон типа К по показателям свойств наиболее близок к асфальтобетону. При использовании в составе асфальтогранулобетонов цемента наблюдается уменьшение его прочностных характеристик при испытании на изгиб при температуре 0°C относительно асфальтобетона. Так предел прочности при изгибе уменьшился более чем на 20%, а деформация более чем на 40%; предел прочности при сжатии при температуре +20°C после 10 циклов замораживания-оттаивания и коэффициент морозостойкости понизились в 2 и 3 раза соответственно. Анализ лабораторной модели конструкции дорожной одежды, состоящей из «АГБ типа К + асфальтобетон» продемонстрировал, что предел ее прочности на изгиб при температуре +20 °C и деформация превышают показатели аналогичной модели из «АГБ типа М + асфальтобетон» на 13% и 185% соответственно.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в том, что выявлены особенности совместной работы асфальтогранулобетонных слоев с асфальтобетоном. Наилучшей совместной работой характеризуются сборные конструкции, выполненные из асфальтогранулобетона типа К и асфальтобетона в виду близости прочностных и деформативных характеристик в широком диапазоне температур. Для обеспечения показателей водо- и морозостойкости составы асфальтогранулобетона типа М требуют корректировки специальными добавками.

Ключевые слова: асфальтогранулят, битумная эмульсия, цемент, асфальтогранулобетон, асфальтобетон, жесткость, сборные конструкции, прессование, уплотнитель Маршалла

Для цитирования: Лесовик В.С., Денисов В.П., Кабалин М.Д., Высоцкая М.А. Обоснование выбора асфальтогранулобетонных смесей типов М и К с позиции совместной работы слоев основания и покрытия дорожной одежды // Известия КГАСУ, 2024, № 1(67), с. 51-62, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/67.6, EDN: HJQTES

Justification for the choice of asphalt granuloconcrete mixtures of types M and K from the perspective of the joint work of base layers and pavement surface

V.S. Lesovik¹, V.P. Denisov¹, M.D. Kabalin¹, M.A. Vysotskaya¹
¹Belgorod Shukhov State Technological University,
Belgorod, Russian Federation

Abstract: *Statement of the problem.* The dynamic and sustainable development of the road construction sector requires innovative development and a transition to “green development” technologies, which involve reducing the impact on the environment and reducing the carbon footprint, as well as reforms in the production of environmentally friendly, cost-effective building materials and technologies for working with them. Cold recycling technology meets the challenges of our time. However, it is currently at its formative stage and requires activity in the field of research on the advantages and disadvantages of this or that type of asphalt granuloconcrete, its durability and collaboration with asphalt concrete. The purpose of the work is to study and comparatively analyze asphalt granuloconcrete types M and K from the standpoint of physical, mechanical and operational properties, as well as to evaluate their joint work with asphalt concrete in the design of road pavements. The objectives of the work are to study the influence of mineral and complex binders on the physical, mechanical and operational characteristics of granular asphalt concrete; to assess the impact of the methodology for selecting and testing composites; to analyze the effectiveness of joint work of asphalt granuloconcrete types M and K with asphalt concrete.

Results. The paper presents the results of studies of asphalt granuloconcrete types M and K selected and tested using two different methods. The obtained data demonstrated that asphalt granuloconcrete of type K is closest to asphalt concrete in terms of properties. When cement is used as a part of asphalt granuloconcrete, a decrease in its strength characteristics is observed when bending at a temperature of 0 ° C relative to asphalt concrete. Thus, the bending strength decreased by more than 20%, and the deformation by more than 40%; the compressive strength at a temperature of +200C after 10 freeze-thaw cycles and the frost resistance coefficient decreased by 2 and 3 times respectively. The analysis of the laboratory model of the pavement structure consisting of "AGB type K + asphalt concrete" demonstrated that its bending strength at a temperature of +20 0C and deformation exceed the indicators of a similar model from "AGB type M + asphalt concrete" by 13% and 185% respectively.

Conclusions. The significance of the results obtained for the construction industry lies in the fact that the features of the joint work of asphalt granuloconcrete layers with asphalt concrete have been identified. The best joint work is characterized by prefabricated structures made of asphalt granuloconcrete type K and asphalt concrete due to the similarity of strength and deformation characteristics in a wide temperature range. To ensure water and frost resistance, compositions of type M asphalt granular concrete require adjustment with special additives.

Keywords: granulated asphalt, bitumen emulsion, cement, granulated asphalt concrete, asphalt concrete, rigidity, prefabricated structures, pressing, Marshall compactor

For citation: Lesovik V.S., Denisov V.P., Kabalin M.D., Vysotskaya M.A. Justification for the choice of asphalt granuloconcrete mixtures of types M and K from the position of joint work of base layers and pavement surface // News KSUAE, 2024, № 1(67), p. 51-62, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/67.6, EDN: HJQTES

1. Введение

Деятельность человечества всегда была тесно связана с воздействием на окружающую среду. Ход истории демонстрирует, что природные ресурсы, с различной степенью интенсивности, подвергались чрезмерной, временами агрессивной эксплуатации, превращаясь в энергию, разнообразные товары, а также сырьевые полуфабрикаты и готовую продукцию. В этой череде трансформаций постепенная деградация окружающей среды неизбежна.

С точки зрения воздействия на окружающую среду и потребления природных ресурсов дорожная отрасль [1-3] вносит значимый вклад. Активность дорожно-строительного комплекса сопряжена с одной стороны с увеличением потребности в дорожно-строительных материалах, а с другой - образованием сопутствующих отрасли техногенного сырья и отходов. Очевидно, что динамичное и устойчивое развитие отрасли должно реализовываться в направлении инновационного развития с переходом к технологиям «зеленого развития» [4,5], подразумевающим снижение прессинга на окружающую среду, уменьшение углеродного следа, и реформами в сфере производства экологически чистых, экономичных строительных материалов и технологии работы с ними.

Анализируя вышеизложенное, логично сокращение объемов вовлекаемых в отрасль первичных сырьевых ресурсов: минерального материала (щебня, отсева дробления и минерального порошка), а также органических вяжущих. Однако учитывая высокую долю дорог регионального и межмуниципального значений, не соответствующих нормативным требованиям по регионам [6], очевидна необходимость в увеличении сырьевой базы для удовлетворения нужд отрасли. Реализация такой дуальной задачи возможна посредством широкого внедрения в отрасль технологии переработки асфальтового гранулята и, в первую очередь, методом холодной регенерации или ресайклинга [7-9], отвечающей актуальной повестке современности с переходом к технологиям и социальной инфраструктуре, нацеленным на защиту среды обитания человека [10-12] Что в полной мере отвечает подходам используемым в геонике (геомиметике) [10], оптимизирующим системы «человек – материал – среда обитания».

Технология холодной ресайклинга также позволяет, вовлекая существующие слои дорожной одежды из асфальтобетона и частично щебня, решить задачу формирования устойчивых гомогенных слоев несущего основания или покрытия автомобильных дорог. из асфальтогранулобетонной смеси. Формированию этого слоя предшествует значительный перечень операций, необходимых для создания оптимальной структуры композита. Тщательное изучение фактического состояния существующего покрытия, с оценкой толщины каждого из слоев, является необходимым условием для подбора рецептуры смеси. На этом этапе должно выполняться назначение вида и содержание вяжущих компонентов, а также оценка необходимости введения скелетного компонента – первичного щебня [9,13].

Динамика развития популярности слоев дорожных одежд из вторичного асфальтобетона нашла свое отражение и в нормативной документации. Рассмотрим последовательность изменений нормативной базы. Это необходимо, так как определяет вектор исследований и набор используемых экспериментальных инструментов.

1. ОС-568-р «Методические рекомендации по восстановлению асфальтобетонных покрытий и оснований автомобильных дорог способом холодной регенерации».
2. СТО НОСТРОЙ 2.25.35-2011 «Устройство оснований дорожных одежд. Часть 7 строительство оснований с использованием асфальтобетонного гранулята».
3. СТО НОСТРОЙ 2.25.159-2014 «Холодная регенерация конструктивных слоев для устройства оснований дорожных одежд»
4. СТО 03441578-0005-2016 «Смеси асфальтогранулобетонные и асфальтогранулобетон для автомобильных дорог»
5. ПНСТ 306-2018 «Смеси органоминеральные холодные с использованием переработанного асфальтобетона (РАП)»
6. ОДМ 218.6.1.005-2021 «Методические рекомендации по восстановлению асфальтобетонных покрытий и оснований автомобильных дорог методом холодной регенерации».

7. Серия ГОСТ Р 70197.1 – 2022, ГОСТ Р 70197.2 – 2022 и ГОСТ Р 70197.3 – 2022. «Смеси органоминеральные холодные с использованием вторичного асфальтобетона».

Значимый объём нормативной базы по тематике исследования является индикатором актуальности и значимости для отрасли вопросов вторичной переработки асфальтобетона методом холодной регенерации. Однако вызывает некоторую неоднозначность в терминологии. Так, например, в соответствии с ОС-568-р такие композиты назывались АГБ типов М, К, Э, В и так далее, в зависимости от применяемого вида вяжущего вещества или их комплекса.

ОДМ 218.6.1.005-2021 предлагает выполнять классификацию с учетом агрегатного состава асфальтобетонного гранулята и подразделять смеси для слоев основания (О) и покрытия (П). Также сохранилось деление по используемому в композите вяжущему. Таким образом, асфальтогранулобетон в редакции этого документа классифицируется как: АГБС 32-К-О или АГБС 16-В-П и так далее.

Вступившая в действие серия ГОСТ Р 70197 внесла в терминологию понятие «ОМС» - смеси органоминеральные холодные. Теперь смеси с содержанием асфальтогранулята классифицируются как ОМС 16К и М или ОМС 32К и М. Очевидно новшества в классификации определены тем, что типы асфальтогранулобетона М и К являются наиболее используемыми в отрасли.

Резюмируя вышеизложенное, можно заключить, что в настоящее время доступная информация в части технологии холодной регенерации носит общий изменчивый характер. Можно ознакомиться с трудами [14-16] касательно проектирования оптимальных составов асфальтогранулобетонов. Однако исследования ограничены рамками актуальной нормативной базы и не учитывают технических и климатических особенностей последующей эксплуатации композита в покрытии [7]. Сложно найти мотивированные данные о преимуществах и недостатках того или иного вида гранулятных материалов, об их долговечности и уровню надежности. Таким образом, являясь актуальным и перспективным направлением исследований, холодная регенерация содержит значительное количество «слепых» пятен, что объяснимо. Рассматриваемая технология проходит стадию своего становления и требует активности в области исследований и стабилизации нормативной базы. Очевидно, что использование механизмов техногенного метасоматоза в формировании структур дорожных композитов, а также принципа «средства структур» [10] при проектировании конструкций дорожных одежд, позволит обеспечить прогнозируемый жизненный цикл транспортного сооружения.

Целью представленного исследования является изучение и сравнительный анализ асфальтогранулобетонов типов М и К с позиции их физико-механических и эксплуатационных свойств, а также оценка их совместной работы с асфальтобетоном в конструкции дорожных одежд автомобильных дорог. Объектом исследований выступал асфальтогранулобетон типов М и К. Предмет исследований – влияние вида используемого вяжущего, методики подбора и испытания асфальтогранулобетона на его физико-механические и эксплуатационные показатели.

Задачами исследования являются:

- исследование влияния минерального и комплексного вяжущего на физико-механические и эксплуатационные показатели АГБ;
- оценка влияния методологии подбора и испытания композитов из асфальтогранулята;
- сравнительный анализ эффективности совместной работы АГБ типов М и К с асфальтобетоном.

2. Материалы и методы

В соответствии с планом эксперимента, первая часть исследований по подбору составов композитов выполнялась в соответствии с ОС-568-р «Методические рекомендации по восстановлению асфальтобетонных покрытий и оснований автомобильных дорог способом холодной регенерации». Подбирались АГБ типов М и К.

На следующем этапе, ввиду изменений в нормативной базе, исследования строились в соответствии с ОДМ218.6.1.005-2021 «Методические рекомендации по

восстановлению асфальтобетонных покрытий и оснований автомобильных дорог методом холодной регенерации». С учетом агрегатного состава асфальтобетонного гранулята подбирались смеси для слоев основания АГБС 16-К-О и АГБС 16-М-О.

В качестве объекта исследования в работе рассматривался асфальтобетонный гранулят (АГ) с содержанием остаточного битума 4,7%. Анализ гранулометрического состава АГ (0,063/31,5), продемонстрировал необходимость введения скелетного материала – гранитного щебня из карьера «Павловск Неруд» фр. 20-40 и фр.8-16. Для формирования структуры композита из асфальтобетонного гранулята использовалась битумная эмульсия ЭБДК М с содержанием вяжущего и эмульгатора 61% и индексом распада 273, а также портландцемент марки ЦЕМ I 32,5Н.

В соответствии с методикой, изложенной в ОС-568-р, на стадии подбора и дальнейших экспериментов образцы АГБ формовались прессованием под давлением. Переход в исследовании к ОДМ 218.6.1.005-2021, определил необходимость использования уплотнителя Маршалла для изготовления образцов диаметром 101,6±0,1 мм и высотой 63,5±2,5 мм. Использование уплотнителя Машалла, внесло изменения в изготовление образцов АГБ. Процесс изготовления образцов в соответствии с ОДМ должен завершаться в течение 2 часов после окончания перемешивания смеси. Подготовленная проба смеси помещалась в сборную форму и штыковалась 15 раз по периметру и 10 раз по внутренней части формы, после чего помещалась в уплотнитель и уплотнялась 50 ударами уплотнительного молота, после чего форма с образцом переворачивалась и закреплялась в держателе. Выполнялось повторение процедуры уплотнения с идентичным числом ударов уплотнительного молота. По окончании уплотнения, форма разбиралась и помещалась в устройство для извлечения образцов. У изготовленного образца оценивались его геометрические размеры и целостность. Нарушение одного из параметров – основание для отбраковки образца. Образец, соответствующий требованиям, отправлялся на хранение при нормальных условиях твердения.

В ходе эксперимента были получены оптимальные составы смесей. Их рецептуры представлены в табл. 1. Вода, с учетом отсутствия влажности в АГ, составляла 2,5%.

Таблица 1

Рецептуры АГБ смесей типов М и К

Вид смеси	Компонентный состав смеси, %				
	щебень фр.		асфальтогранулят	цемент ЦЕМ I 32,5Н	эмульсия ЭБДК М
	20-40	8-16			
АГБ М	19,0		81,0	3,2	-
АГБ К				2,7	2
АГБС 16-М-О		20,0	80,0	3,3	
АГБС 16-К-О				2,5	2,5

Изготовленные образцы твердели в соответствии с рекомендациями нормативных документов. После чего, часть образцов, изготовленных по методике ОС-568-р, испытывалась в виде цилиндров, вторая часть образцов подверглась распилу в призмы.

Изготовленные образцы-призмы тестировали на предел прочности на сжатие при температуре +20 °С, при температуре +20 °С после 10 циклов замораживания-оттаивания, растяжение при -10 °С. В процессе испытания на растяжение измеряли деформацию (прогиб) и работу, прилагаемую к образцу до его разрушения.

Оценка жесткости композитов выполнялась в соответствии с методикой EN 12697-26 «Смеси асфальтобетонные. Методы испытаний горячих асфальтобетонных смесей. Часть 26. Жесткость» (SIST EN 12697-26:2012 - Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt - Part 26: Stiffness). Сравнительному анализу подверглись образцы из асфальтобетонной смеси и два вида асфальтогранулобетонной смеси типов М и К.

В ходе эксперимента к образцам прикладывалась синусоидальная нагрузка с частотой 10 Гц по схеме растяжения при расколе. В процессе тестирования выполнялось измерение вертикальных и горизонтальных деформаций образца при температуре испытания (-10, +20, +50 °С). На основе полученных данных был рассчитана жесткость

образцов. Началу испытаний предшествовало изготовление образцов шайб диаметром 100 мм и высотой (50 ± 1) мм при помощи вращательного уплотнителя Соорег. Эксперимент начинали с низкой температуры (-10°C) и постепенно переходили к высокой ($+20, +50^{\circ}\text{C}$).

После исследования индивидуальных характеристик дорожно-строительных композитов: АГБ типа М, АГБ типа К и асфальтобетона типа Б, были изготовлены двухслойные образцы цилиндры и плиты, имитирующие расположение слоев из материала в конструкции дорожной одежды: АГБ типа М + асфальтобетон, АГБ типа К + асфальтобетон, а также образцы плиты. Образцы плиты размером 260×320 мм изготавливались на секторном уплотнителе InfraTest 20-4030.

Через 7 суток на ранее изготовленные образцы АГБ формировали второй слой из асфальтобетона типа Б. Из сборных образцов цилиндров и плит в возрасте 8 суток выпиливались образцы-призмы, размером $70 \times 70 \times 150$ мм, которые были разделены на 2 серии. Призмы из цилиндров испытывались на изгиб (рис. 1) для оценки характера разрушения между слоями. Центром приложения растягивающей нагрузки принималась линия сопряжения слоев. Призмы из плит тестировались на изгиб с приложением растягивающей нагрузки по центру образца и фиксацией деформаций. Первые серии испытывались при температуре $+20^{\circ}\text{C}$, вторые серии подвергались попеременному замораживанию-оттаиванию, после чего испытывались при этой же температуре.



Образцы до испытания

Образцы после испытания

АГБ типа К

АГБ типа М

Рис. 1. Сборные двухслойные образцы-призмы из АГБ-смесей и асфальтобетона
(иллюстрация авторов)

Fig. 1. Prefabricated two-layer samples-prisms made of AGB mixtures and asphalt concrete
(illustration by the authors)

Образцы изготовленные по ОДМ 218.6.1.005-2021 испытывались по стандартным методикам, изложенным в нормативе: предел прочности при непрямом растяжении при температурах 20 и 40°C в возрасте 7 суток, . предел прочности при непрямом растяжении при температурах 20°C в возрасте 28 суток, водостойкость и длительная водостойкость.

3. Результаты и обсуждения

Изготовленные по методике ОС-568-р образцы из АГБ-смесей в возрасте 7 суток испытывали в соответствии с методологией изложенной выше. Так как в дорожной конструкции слой из асфальтогранулобетона работает, зачастую, совместно со слоями из асфальтобетона, представляло интерес изучение при идентичных условиях поведение и асфальтобетона. Полученные результаты представлены в табл.2.

Таблица 2

Показатели свойств изучаемых материалов

Показатель	Вид композита		
	АГБ типа К	АГБ типа М	асфальтобетон типа Б
Предел прочности на изгиб, МПа при температуре 0 °С	3,21	2,71	3,30
Деформация образца в момент разрушения, мм	1,41	0,85	1,45
Предел прочности при растяжении при расколе, температура испытания -10 °С, МПа	2,79	2,00	4,39
Деформация, мм	1,28	0,52	1,62
Работа, Дж	7210	2305	5688
Предел прочности при сжатии при температуре +20°С	3,84	2,71	3,96
Предел прочности при сжатии при температуре +20°С после 10 циклов замораживания-оттаивания	2,34	1,23	3,84
К морозостойкости	0,61	0,45	0,97

В процессе испытания образцов на растяжение измеряли его деформацию (прогиб) и работу, которую было необходимо приложить к образцу до его разрушения, (рис.2).

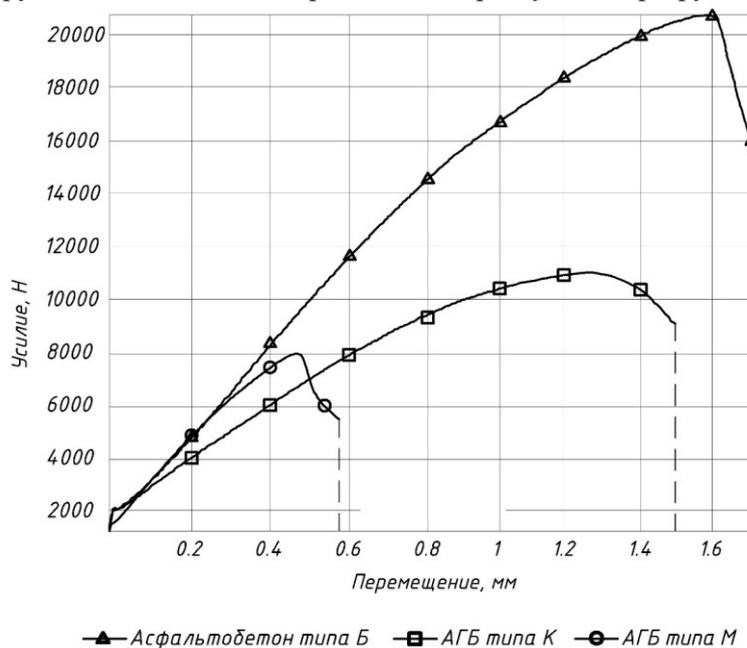


Рис. 2. Деформация образцов в момент разрушения при температуре - 10°С (иллюстрация авторов)

Fig. 2. Deformation sample at the destruction moment at temperature - 10°С (illustration by the authors)

В соответствии с полученными данными, (рис.2), серии образцов из АГБ типа М характерно хрупкое разрушение с низкой способностью к релаксации напряжений. Наблюдается стремительный набор прочности, и падение ветви графика, что может косвенно свидетельствовать о возможности резкого отказа несущей способности конструктива, выполненного из такого материала. В пользу выдвинутого предположения свидетельствует и характер разрушения призм в момент испытания. Для образцов из АГБ типа М наблюдается широкое раскрытие трещины при испытании на изгиб, в то время как образец типа К более длительное время способен к сопротивлению разрушающему напряжению. При этом ветвь графика после разрушения характеризуется пологими очертаниями, позволяющими предположить склонность конструктива из АГБ типа К к релаксации напряжений.

Известно, что срок службы асфальтобетонных покрытий определяется также деформативными и теплофизическими показателями покрытия и основания. Чем больше различаются их прочностные характеристики и линейное температурное расширение, тем хуже совместная работа под действием нагрузок.

Сопоставительный анализ лабораторных моделей конструкции дорожной одежды состоящих из пар композитов (табл. 2): «АГБ типа М + асфальтобетон» (пара 1) и «АГБ типа К + асфальтобетон» (пара 2) продемонстрировал, что предел прочности на изгиб при температуре 0 °С и деформация образца в момент разрушения для пары 2 максимально близки и лежат в диапазоне погрешности измерения. Иная картина наблюдается при сопоставлении пары 1: разница прочностных характеристик образцов из АГБ типа М и асфальтобетона составила порядка 20%, а деформации более 40% с понижением.

Определение предела прочности при растяжении при расколе при температуре -10 °С, продемонстрировало, значительную разницу в величине показателя для образцов АГБ типа М и асфальтобетона. Для пары АГБ типа К и асфальтобетона это различие в конструктиве менее выражено. Однако наиболее важными показателями с точки зрения обеспечения единства работы слоев конструкции на изгиб и растяжение-сжатие является деформативность слоев. В случае пары 1 деформации (прогиб) композитов при -10 °С отличаются между собой более чем в 3 раза.

Интерес представляет коэффициент морозостойкости после 10 циклов замораживания-оттаивания сравниваемых композитов: для АГБ типа М этот показатель более чем в 2 раза меньше относительно асфальтобетона и на 35% АГБ типа К.

Таким образом, на данном этапе при оценке физико-механических характеристик АГБ типа К отличается рядом преимуществ. Есть мнение [17], что композитам, выполненным на минеральных вяжущих, характерны изменения размеров и форм, выражающиеся в горизонтальных и вертикальных перемещениях. Далее приведены данные, (табл. 3) по параметру жесткости композитов, который характеризует способность материала сопротивляться образованию деформаций и может являться индикатором перспективы совместной работы композитов в слоях дорожной одежды.

Таблица 3

Показатели жесткости образцов шайб

Температура испытания, °С	Жесткость образцов-шайб, изготовленных из различных композитов, МПа		
	АГБ типа К	АГБ типа М	асфальтобетон
50	550	3530	440
20	2040	5370	1970
-10	11700	13560	19140

Оценивалось влияние температур испытания и вида применяемого вяжущего в композите на его жесткость.

Очевидно, чем выше жесткость, тем менее материал подвержен деформации. С этой позиции АГБ типа К является предпочтительным. Однако, для совместной работы слоев дорожной одежды, важен не принцип максимальности единичных значений в конструктивном слое, а возможность совместной работы слоев. Подобный подход определяет интерес к паре «АГБ типа К и асфальтобетон», ввиду близости величин жесткости композитов в диапазоне рассматриваемых температур.

Сравнительный анализ исследуемых композитов по деформативным показателям, прочностям на изгиб и сжатие, в соответствии с табл. 2 и 3, продемонстрировал, что АГБ типа К и асфальтобетон типа Б имеют большее сходство, чем АГБ типа М, что в перспективе должно обеспечить эффективную совместную работу в конструкции дорожной одежды.

Тестирование сборных образцов-призм подтвердило правомерность выдвинутого предположения. Как видно, (рис.1), в случае испытания конструкции «АГБ типа К + асфальтобетон» разрушение идет по линии сопряжения слоев в виду их равнопрочности и близости деформативных характеристик. При испытании конструкции «АГБ типа М + асфальтобетон» разрушение идет по малопрочному материалу, в рассматриваемом случае

- асфальтогранулобетону на минеральном вяжущем, плохо воспринимающем, в виду жесткости, растягивающие напряжения.

Результаты по исследованию образцов-призм из плит представлены в табл.4.

Таблица 4

Показатели свойств сборных образцов «АГБ + асфальтобетон»

Рассматриваемые конструкции	Предел прочности на изгиб при температуре 20 °С, МПа	Деформация образца в момент разрушения, мм
АГБ типа М + асфальтобетон (пара 1)	2,70	0,49
АГБ типа К + асфальтобетон (пара 2)	3,04	1,40
АГБ типа М + асфальтобетон после замораживания и оттаивания	2,33	0,41
АГБ типа К + асфальтобетон после замораживания и оттаивания	2,80	1,38

Данные табл. 4 дублируют тренд изложенный в табл. 3. Очевидно, что слой из АГБ типа М являясь более жестким и малопрочным при изгибающих нагрузках лимитирует прогиб общей конструкции.

Реализация второй части эксперимента, выполненная по методологии ОДМ 218.6.1.005-2021, изложена в табл.5.

Таблица 5

Физико-механические показатели образцов, изготовленных из АГБС16-О

Наименование показателя	Значение показателей для АГБС О			
	требуемые		фактические	
	М	К	М	К
Водостойкость, не менее	0,50	0,50	0,50	0,74
Длительная водостойкость	-	-	0,39	0,56
Предел прочности при непрямом растяжении, МПа, при температуре 20 °С				
	0,30	0,30	0,44	0,58
	0,25	0,20	0,43	0,45
Предел прочности при непрямом растяжении, при температуре 20 °С в возрасте 28 суток, МПа, не более	1,2	1,2	1,16	0,89

Ожидаемо, показатели свойств композитов, выполненных на комплексном вяжущем, выше. И дублируют данные, полученные ранее, (табл. 2). В частности, этот тренд проявляется при анализе предела прочности композитов при непрямом растяжении, при температуре 20 °С в возрасте 28 суток. Данные табл. 5 демонстрируют, что АГБС - О М более прочный (жесткий) относительно образцов, выполненных на комплексном вяжущем. Примечательна динамика изменения водостойкости АГБ: образцы изготовленные на вяжущем типа К продемонстрировали большую коррозионную стойкость относительно серии изготовленной только с использованием цемента (тип М). Очевидно, это связано с тем, что для АГБ М для формирования прочной и устойчивой структуры требуется больше времени. Полученные данные, также согласуются с выводами, сделанными авторами [18], в соответствии с которыми требуется внесение специальных добавок, нацеленных на создание плотных и водостойких структур в асфальтогранулобетонах.

4 Заключение

Анализ полученных данных показал, что независимо от используемой методологии подбора и испытания асфальтогранулобетон с использованием комплексного вяжущего (типа К) отличается рядом преимуществ перед композитами, выполненными с использованием только цемента (тип М). Установлено, что прочностные характеристики, особенно на изгиб, и деформация образцов в диапазоне исследуемых температур для АГБ типа К и асфальтобетона типа Б максимально близки и лежат в диапазоне погрешности измерения. Для АГБ типа М разница прочностных характеристик, относительно

асфальтобетона, составила порядка 20%, а деформации более 40%. Коэффициент морозостойкости АГБ типа М после 10 циклов замораживания-оттаивания отличается от данных для асфальтобетона более чем в 2 раза в сторону понижения и на 35% меньше чем у АГБ типа К. Исследование образцов АГБ типа М, полученных посредством уплотнителя Маршалла, продемонстрировали недостаточную стойкость к воздействию воды. Таким образом, наилучшей совместной работой характеризуются сборные конструкции, выполненные из асфальтогранулобетона типа К и асфальтобетона в виду близости прочностных и деформативных характеристик в широком диапазоне температур, что закономерно с позиции закона «сродства структур». Для обеспечения показателей водо- и морозостойкости составы асфальтогранулобетона типа М требуют корректировки специальными добавками. В связи с этим, дальнейшие исследования будут направлены на модификацию составов добавками ПАВ и исследование холодных органоминеральных смесей (ОМС).

Список литературы/ References

1. Шукуров М. М., Нурдинов М. А., Солиев Б. А., Исмоилов Р. И. Дорожно-транспортный комплекс, и их воздействие на окружающую среду // ORIENSS. 2021. № 4. С. 689–696. [Shukurov M. M., Nurdinov M. A., Soliev B. A., Ismoilov R. I. Road transport complex and their impact on the environment // ORIENSS. 2021. No. 4. P. 689–696.]
2. Иванов Д. А., Михайлов А. В. Экология дорожного строительства: Баланс развития инфраструктуры и охраны окружающей среды // Вестник науки. 2023. № 6 (63). С. 852–857. [Ivanov D. A., Mikhailov A. V. Ecology of road construction: Balance of infrastructure development and environmental protection // Bulletin of Science. 2023. No. 6 (63). P. 852–857.]
3. Салихова Э. В., Турсунбаева Д. И. Влияние автомобильного транспорта на окружающую среду // Академическая публицистика. 2022. № 6-1. С. 171–174. [Salikhova E.V., Tursunbaeva D.I. The influence of automobile transport on the environment // Academic journalism. 2022. No. 6-1. P. 171–174.]
4. Zou T. Development Status and Future Prospects of New Construction and Decoration Materials in China // Building Materials and Decoration. 2020. No. 5. P. 52–53.
5. Vdovin E., Stroganov V., Konovalov N. Modification of road soil cement with activated fillers // Proceedings of EECE 2020. Energy, Environmental and Construction Engineering. Cham. 2021. P. 335–345. DOI: 10.1007/978-3-030-72404-7_33].
6. Доля дорог, не отвечающих нормативным требованиям. Статистические данные. URL: <https://rosavtdor.gov.ru/> (дата обращения: 25.01.2024) [Proportion of roads that do not meet regulatory requirements. Statistical data. URL: <https://rosavtdor.gov.ru/> (reference date: 01/25/2024)].
7. Буданова Е. С., Ярмолинский В. А. Холодный ресайклинг. Повышение эффективности использования на территории РФ // Умные композиты в строительстве. 2022. Т. 3. № 2. С. 54–67. DOI: 10.52957/27821919_2022_2_54. [Budanova E. S., Yarmolinsky V. A. Cold recycling. Increasing the efficiency of use on the territory of the Russian Federation // Smart composites in construction. 2022. Vol. 3. No. 2. P. 54–67. DOI: 10.52957/27821919_2022_2_54.]
8. Mao N. Investigation of the Commercial Potential of Emulsified Asphalt Cold In-Place Recycling Based on SWOT Analysis // Open Journal of Business and Management. 2023. Vol. 11. No. 6. P. 3135–3151. DOI: 10.4236/ojbm.2023.116172.
9. Ayan V., Omer J. R., Azadani S. M. N., Limbachiya M. C. and Khavandi A. Water Absorption Study in Recycled Aggregates for Use as Pavement Material // Open Access Library Journal. 2014. Vol. 1. No. 6. P. 1–10. DOI: 10.4236/oalib.1100605.
10. Лесовик В.С., Фомина Е.В. Новая парадигма проектирования строительных композитов для защиты среды обитания человека // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. Вып. 10. С. 1241–1257. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.10.1241-1257 [Lesovik V.S., Fomina E.V. The new paradigm of designing construction composites to protect the human environment. Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2019; 14(10):1241-1257. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.10.1241-1257]

11. Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Чулкова И.Л., Толстой А.Д., Володченко А.А. Средство структур как теоретическая основа проектирования композитов будущего // Строительные материалы. 2015. № 9. С. 18–22 [Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.H., Chulkova I.L., Tolstoy A.D., Volodchenko A.A. Affinity of structures as a theoretical basis for designing composites of the future. Construction Materials. 2015; № 9.P.18-22.].
12. Акимов И. Экологичное строительство: как девелоперы сохраняют окружающую среду / Акимов И. [Электронный ресурс] // газета.ru : [сайт]. — URL: <https://www.gazeta.ru/business/2021/12/15/14317705.shtml> (дата обращения: 25.01.2024). [Akimov I. Eco-friendly construction: how developers preserve the environment / Akimov I. [Electronic resource] // newspaper.ru: [site]. — URL: <https://www.gazeta.ru/business/2021/12/15/14317705.shtml> (reference date: 01/25/2024).].
13. El-Hmrawey S., El-Maaty A.E.A. and Elmohr A.I. Durability of Hot Asphalt Mixtures Containing Reclaimed Asphalt Pavements // Open Access Library Journal. 2015. Vol. 2. No. 5. P. 1-18. DOI: 10.4236/oalib.1101508.
14. Долинский Я. А., Свиридов В. Л., Соловьев А. С. Оптимизация составов асфальтогранулобетонных смесей при ремонте автомобильных дорог по методу холодной регенерации : сборник материалов V Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию ФГБОУ ВО «СибАДИ» / Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ). Омск, 2021. С. 647–654. [Dolinsky Ya. A., Sviridov V. L., Solovyov A. S. Optimization of the composition of asphalt granuloconcrete mixtures during the repair of highways using the cold regeneration method: collection of materials of the V International Scientific and Practical Conference dedicated to the 90th anniversary of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "SibADI" / Siberian State Automobile and Highway University (SibADI). Omsk, 2021. P. 647–654.].
15. Еремин А. В., Курдюков Р. П. Определение рецепта приготовления асфальтогранулобетонной смеси // Высокие технологии в строительном комплексе. 2019. № 1. С. 37-41. [Eremin A.V., Kurdyukov R.P. Determination of a recipe for preparing an asphalt granuloconcrete mixture // High technologies in the construction complex. 2019. No. 1. P. 37-41.].
16. Измаилова Г. Г., Сивохина Е. С., Ельшибаев А. О. К вопросу применения битумной эмульсии в составе ресайклированного слоя // Вестник КазАТК. 2018. № 2 (105). С. 182–188. [Izmailova G. G., Sivokhina E. S., Elshibaev A. O. On the issue of using bitumen emulsion as part of a recycled layer // Vestnik KazATK. 2018. No. 2 (105). P. 182–188.].
17. Корочкин А. В. Теория расчёта жёсткой дорожной одежды с асфальтобетонным покрытием: учеб. пособие. М.: МАДИ, 2017. 148 с. [Korochkin A.V. Theory of calculation of rigid road pavement with asphalt concrete pavement: textbook. M.: MADI, 2017. 148 p.]
18. Ярмолинский В.А., Буданова Е.С. Анализ эффективности применения различных видов вяжущих в асфальтогранулобетоне // Автомобильные дороги. 2023. № 8. С. 142–145. [Yarmolinsky V. A., Budanova E. S. Analysis of the effectiveness of the use of various types of binders in asphalt granulocrete // Highways. 2023. No. 8. P. 142–145].

Информация об авторах

Лесовик Валерий Станиславович, доктор технических наук, профессор, Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, г. Белгород, Российская Федерация.

E-mail: naukavs@mail.ru

Денисов Василий Петрович, кандидат технических наук, Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, г. Белгород, Российская Федерация.

E-mail: wpdbel@mail.ru

Кабалин Максим Дмитриевич, аспирант, Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, г. Белгород, Российская Федерация.

E-mail: Maksipit13@gmail.com

Высоцкая Марина Алексеевна, кандидат технических наук, доцент, Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, г. Белгород, Российская Федерация.

E-mail: roruri@rambler.ru

Information about the authors

Valery St. Lesovik, doctor of technical sciences, professor, Belgorod Shukhov State Technological University, Belgorod, Russian Federation.

E-mail: naukavs@mail.ru

Vasily P. Denisov, candidate of technical sciences, Belgorod Shukhov State Technological University, Belgorod, Russian Federation.

E-mail: wpdbel@mail.ru

Maxim D. Kabalin, post-graduate student, Belgorod Shukhov State Technological University, Belgorod, Russian Federation.

E-mail: Maksipit13@gmail.com

Marina A. Vysotskaya, candidate of technical sciences, associate professor, Belgorod Shukhov State Technological University, Belgorod, Russian Federation.

E-mail: roruri@rambler.ru