

Ш.В. БУЗИКОВ<sup>1</sup>, М.В. МОТОВИЛОВА<sup>1</sup><sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», г. Киров, Россия

## ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ С АСФАЛЬТОВЫМ ГРАНУЛЯТОМ

**Аннотация.** Состояние асфальтобетона и его нормативный срок эксплуатации на дорогах общего пользования являются основными показателями дорожного покрытия. Рассмотрены факторы нарушения верхнего слоя асфальтобетона от повышенных динамических воздействий колесной нагрузки транспортных средств. Эксплуатационные показатели характеризуются прочностными и деформационными характеристиками.

Проанализированы и обоснованы факторы обеспечивающие необходимые деформационные и прочностные параметры при эксплуатации дорожного полотна. Определены показатели и условия контакта поверхности измельченного гранулята в зоне соприкосновения с вяжущими компонентами.

Предложен способ использования асфальтового гранулята трех типоразмеров при формировании верхнего слоя дорожного покрытия с нормативным, эксплуатационным сроком службы и рациональным использованием материально-технических ресурсов на всех стадиях формирования и укладки асфальтобетона. Прочность дисперсной системы достигается при формировании асфальтовой смеси за счет повышения плотности, прочности, адгезии вяжущего, водостойкости и сохранения структуры дорожного покрытия. Экспериментом установлен объемный и фракционный типоразмер асфальтового гранулята в общем объеме смеси. Объемный состав содержания гранулята в общем объеме смеси составляет от 20% до 25%.

**Ключевые слова:** асфальтобетон и дорожное покрытие, показатели прочности и деформации, асфальтовый гранулят, плотность, старение.

Sh.V. BUZIKOV<sup>1</sup>, M.V. MOTOVILOVA<sup>1</sup><sup>1</sup>Vyatka State University, Kirov, Russia

## IMPROVING THE PERFORMANCE OF ROAD SURFACES WITH ASPHALT GRANULATE

**Abstract.** The condition of asphalt concrete and its standard service life on public roads are the main indicators of the road surface. The factors of violation of the top layer of asphalt concrete from increased dynamic effects of the wheel load of vehicles are considered. Performance indicators are characterized by strength and deformation characteristics.

The factors providing the necessary deformation and strength parameters during the operation of the roadway are analyzed and justified. The indicators and conditions of contact of the surface of the crushed granulate in the zone of contact with the binding components are determined.

A method of using asphalt granulate of three standard sizes in the formation of the top layer of pavement with a normative, operational service life and rational use of material and technical resources at all stages of the formation and laying of asphalt concrete is proposed. The strength of the dispersed system is achieved during the formation of an asphalt mixture by increasing the density, strength, adhesion of the binder, water resistance and preservation of the structure of the pavement. The experiment established the volumetric and fractional standard size of asphalt granulate in the total volume of the mixture. The volume composition of the granulate content in the total volume of the mixture is from 20% to 25%.

**Keywords:** asphalt concrete and road surface, strength and deformation indicators, asphalt granulate, density, aging.

## Введение

Увеличение протяженности вновь вводимых автомобильных дорог общего пользования, интенсивности транспортных потоков, грузоподъемности, влияние динамических нагрузок от колес и повышенного воздействия на верхний слой асфальтобетона приводит к уменьшению нормативного срока эксплуатации дорожного покрытия. В результате повышенных нагрузок дорожного полотна и нарушений со стороны нижних слоев асфальтобетона накапливаются и проявляются упругие и пластические деформации, появляются нарушения ровности покрытия, образуются локальные дефекты на поверхности. А так как интенсивность движения и нагрузка не уменьшается, то это приводит к потере эксплуатационных характеристик больших площадей верхнего слоя дорожного покрытия. Дефекты асфальтобетона сказываются на состоянии и эффективной работе транспортных средств, экологической безопасности, а также безопасности дорожного движения.

Асфальтобетонные покрытия для дорог общего пользования разрабатываются по усредненной нагрузке от колес транспортного средства на основе ГОСТ Р 59300-2021, ГОСТ Р 59302-2021 и СП.

Для повышения эксплуатационных характеристик дорожного покрытия в условиях городского природного рельефа и интенсивности реализуемой транспортной нагрузки целесообразно определить условия пластического сдвига и нарушение прочностных свойств асфальтобетона. Применяемая технология формирования асфальтобетона, используемый материал и качество выполненных работ оказывают влияние на дальнейшую эксплуатацию верхнего слоя асфальтобетонного покрытия. Возникает необходимость в повышении эксплуатационного срока дорожного покрытия, а также более рационального расходования материально-технических ресурсов на всех стадиях формирования и укладки асфальтобетона.

Дороги общего пользования в условиях городской застройки очень редко находятся в состоянии, когда нагрузка на верхний слой асфальтобетона отсутствует. В основном дорожное полотно является системой, на которую постоянно действуют силы, вибрации и механические колебания. К разрушению верхнего слоя дорожного полотна приводит интенсивная эксплуатация дорожного покрытия, увеличение осевой нагрузки при большой грузоподъемности транспортного средства, изменение физико-механических свойств асфальтобетона под воздействием температурных показателей, солнечная радиация, осадки, воздействие стока поверхностных вод, усталостные процессы, процессы старения и другие внешние и внутренние воздействия.

В данных условиях происходит постепенное накопление остаточных деформаций, усталостных процессов, образование дефектов и в результате – разрушение дорожного полотна (см. рисунок 1).



*Рисунок 1 – Дефекты дорожного покрытия на дорогах общего пользования*

Многочисленные проведенные исследования в РФ, странах Европы, Азии, Америки дают основания полагать об увеличивающейся тенденции по совершенствованию дорожного

покрытия на основании новых знаний нагружения и воздействия на асфальтобетонное покрытие, а также уточненных физико-механических свойствах применяемых материалов.

Повысить срок службы дорожных покрытий до нормативного срока, а значит и эксплуатационные показатели асфальтобетона возможно за счет применения и использования многокомпонентных составов асфальтобетонных смесей [1], а также применения современных технологий производства дорожно-строительных работ. При этом необходимо учитывать не только, уже сейчас увеличивающуюся интенсивность движения и осевую нагрузку транспортных средств, но и предусмотреть дальнейшее суммарное повышение нагрузки на асфальтобетон.

По результатам анализа отечественных и зарубежных источников научной информации, а также исследований и практических экспериментов, проведенных по повышению эксплуатационных параметров асфальтобетона, можно сделать вывод об актуальности данного направления

Китайскими учеными ключевой лаборатории дорожного строительства университета Тунцзи (Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of Ministry of Education, Tongji University), рассмотрено направление восстановления асфальтового покрытия (RAP) путем измельченного и переработанного старого дорожного покрытия. Результаты полученных экспериментальных данных показывают увеличение прочности на сжатие в результате применения жесткого гранулированного материала из-за состарившегося связующего на поверхности измельченного асфальтового гранулята при фрезеровании дорожного покрытия. Максимальная прочность на сжатие достигается при смешивании 50% щебня и 50% асфальтового гранулята. Использование RAP приводит к снижению выбросов парниковых газов и пористости в верхнем слое асфальтобетона, что положительно сказывается на коэффициенте водопоглощения [2]. К этому же мнению пришли авторы [5], что переработка асфальта RAP и добавка его к новой горячей асфальтовой смеси демонстрируют те же характеристики, что и при их первоначальном использовании. Однако в своих исследовательских работах авторы [3] отмечают, что восстановленный асфальт проявляет ограниченную функциональность, что также подтверждается работами бельгийских ученых [4]. Основное внимание коллектива университета Антверпена (University of Antwerp, Belgium) [4] уделяется повторному использованию восстановленного асфальтового покрытия, снижению температуры производства асфальта, а также экологическим преимущественным показателям за счет экономии первичного материала и сокращения углеродного следа продукции.

В совместном исследовании бразильскими и бельгийскими учеными федерального технического центра (Education of Minas Gerais (CEFET-MG), Department of Civil Engineering, Brazil) и университета Антверпена (University of Antwerp, EMIB Research Group, Belgium) [5] в результате экспериментальных работ по использованию переработанных асфальтовых смесей (асфальтового гранулята) получены результаты, предлагающие высокий уровень замены природных заполнителей с предварительной физической и химической обработкой асфальтового гранулята, или улучшением связующего для повышения прочностных и деформационных свойств асфальтобетона.

Австралийскими и иракскими учеными по результатам работ на деформационные свойства верхнего слоя дорожного покрытия и колееобразование от динамической и циклической нагрузки от колес транспортного средства дана оценка усталостных процессов верхнего слоя дорожного полотна, а также за счет динамического модуля представлена эксплуатационная характеристика горячих асфальтобетонных смесей, имеющих в своем составе от 0% до 60% переработанного бетонного заполнителя с двойным покрытием цементно-шлаковой пастой. Обеспечение высокой устойчивости на образование колеи (повышение прочностных характеристик) соответствует состав горячей асфальтобетонной смеси с 40% и 60% измельченного заполнителя. Авторы дают удовлетворительную оценку

результатам своих исследований, которые требуют дальнейшего изучения в реальных условиях интенсивного потока транспортных средств [6].

Департаментом гражданского строительства и охраны окружающей среды, Мичиганского технологического университета (Department of Civil and Environmental Engineering, Michigan Technological University, United States) дана характеристика механических свойств асфальтобетонных смесей с переработанными бетонными заполнителями для дорог с малым объемом движения и образованием колеи глубиной до 8 мм [7].

Одним из составляющих компонентов асфальтобетона является битум. При получении битума необходимо учитывать экономическую составляющую конечного готового продукта дорожного полотна. Так как используются не восполняемые природные (углеводородные) ресурсы, а также применяется технология более глубокой переработки нефтяных углеводородов, которая влияет на структуру и свойства дорожного битума – соотношение стоимости и срока эксплуатации необходимо учитывать. Поэтому вторичное использование верхнего слоя при фрезеровании дорожного полотна, в качестве асфальтового гранулята относится к перспективному направлению. Таким образом, повторное использование и переработка дорожных строительных отходов (асфальтовый гранулят) является осуществимой и многообещающей технологией в строительстве дорожной сети страны и уменьшения высокого углеродного следа строительной отрасли.

Оценку жизненного цикла битумных смесей, содержащих вторичные материалы: резиновую крошку и восстановленное асфальтовое покрытие (гранулят) в своих работах представляют авторы политехнического института Турин, Италия (Department of Environment, Land and Infrastructure Engineering, Torino, Italy) [8].

Цель данной работы состоит в повышении эксплуатационных показателей верхнего слоя дорожных покрытий из горячих асфальтобетонных смесей, с учетом использования асфальтового гранулята при формировании смеси. Решение данного вопроса связано:

- с определением основных факторов, влияющих на состояние асфальтобетона, и срока эксплуатации на дорогах общего пользования,
- с определением гранулометрического ряда и процентного соотношения каждого типоразмера присутствующего гранулята в смеси в зависимости от прочностных и деформационных показателей.

### **Модели и методы**

Для решения первой задачи проведен анализ факторов и показателей внешнего воздействия на состояние верхнего слоя дорожного полотна, а также применен метод инструментального анализа по определению дефектов асфальтобетона с использованием дорожной рейки.

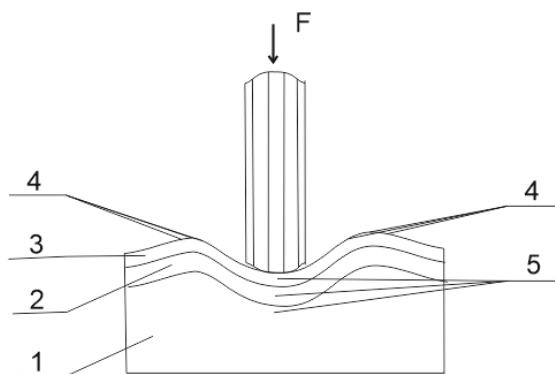
Решение второй задачи основано на анализе источников теоретических работ и экспериментальных исследований по переработке старого асфальтобетона с применением технологии использования асфальтового гранулята при формировании дорожного полотна.

В результате постоянного повышения интенсивности движения транспортных потоков и увеличения в составе потока машин большой грузоподъемности, а также от воздействия скоростного режима и характера движения транспортного средства – нагрузка в точке контакта колеса и слоя асфальтобетона постоянно меняется. Под действием многократно повторяющихся нагружений (воздействий) в слоях дорожного покрытия происходит постепенное накопление необратимых деформаций. Это способствует динамическому воздействию на верхний слой дорожного покрытия и на дорожную конструкцию в целом.

В результате воздействия нескольких осей транспортного средства расположенных на расстоянии 1.2-1.6 м деформация дорожного покрытия имеет сложный характер от взаимного влияния осей. При скорости движения (60-70 км/ч) многоосных транспортных средств частота нагрузки на точку контакта с поверхностью покрытия составляет 14-16 Гц, при среднем времени воздействия 0,059 с (согласно исследованиям Мирончук С.А. научная спец. 05.23.11)

Дороги общего пользования в городской черте, это сложная система, при которой возникает комплексная деформация верхнего слоя дорожного покрытия от взаимного влияния осей (колесной нагрузки) попутного транспортного средства и влияния рядом встречного проезжающего транспортного потока. Возникающая потенциальная энергия от упругой деформации частично перераспределяется в вал по радиусу вокруг зоны прогиба. К тому же при движении транспортных средств от встречного или попутного потока могут возникать дополнительные зоны перенапряжения в дорожном полотне. При движении автосредства перед колесами формируется волна, а в зонах сжатия возникает процесс сдвига. Прогиб формируется при воздействии динамической нагрузки транспортных средств в потоке, сопутствующей волны, температуры поверхностного слоя дорожного покрытия и постоянного изменения физико-механических свойств асфальтобетона при его эксплуатации. В своей работе Матвиенко Ф. В. (Прогнозирование величины необратимой деформации дорожной конструкции от воздействия транспортного потока: 05.23.11) анализируя прогиб дорожного покрытия от колес автосредства при различных скоростях движения и расчетной нагрузке на ось, делает вывод – автомобили с большой грузоподъемностью образуют «сложную чашу» прогиба с деформацией низлежащих слоев в процессе сдвига, что вызывает преждевременное появление необратимых деформаций, дефектов асфальтобетона, утраты ровности поверхности и разрушение основной конструкции дорожного покрытия.

Рассматривая связь упругого прогиба с радиусом кривизны, с предельным сдвигом верхнего слоя дорожного покрытия и относительным удлинением, целесообразно использовать упругий прогиб покрытия как характеристику состояния всей конструкции (см. рисунок 2).



**Рисунок – 2. Схема деформации жесткой дорожной одежды с асфальтобетонным покрытием от колес транспортного средства.**

1 – земляной грунт, 2 – основание, 3 – асфальтобетонное покрытие, 4 – зона максимального растяжения, 5 – зона максимальных напряжений сдвига

Расчетная нагрузка согласно основным дорожным нормам (ОДН 218.046-01) определяется как суммарное расчетное число приложений расчетной нагрузки к точке на поверхности конструкции за срок службы определяют по формуле (1):

$$\sum N_p = f_{пол} \sum_{m=1}^n (N_{1m} K_c T_{pdg} 0,7) S_{тсум} k_n \quad (1)$$

где  $n$  – число марок автомобилей;

$N_{1m}$  – суточная интенсивность движения автомобилей марки  $m$  в первый год службы (в обоих направлениях), авт/сут;

$N_p$  – приведенная интенсивность на последний год срока службы, авт/сут;

$T_{pdg}$  – расчетное число расчетных дней в году, соответствующих определенному состоянию деформируемости конструкции;

$k_n$  – коэффициент, учитывающий вероятность отклонения суммарного движения от среднего ожидаемого;

$S_{тсум}$  – суммарный коэффициент приведения воздействия на дорожную одежду транспортного средства  $m$  – й марки к расчетной нагрузке.

Асфальтобетонную смесь необходимо рассматривать в качестве сложной физико-химической системы. А современная, распространенная теория рассматривает состав асфальтобетона как смесь структурных составляющих: минерального заполнителя (щебень, песок, гравий), которые имеют согласно ГОСТ 9128-2013 размерный ряд. И второго основного компонента асфальтовяжущего, в состав которого входит минеральный порошок и битум.

Используя технологию с применением асфальтового гранулята при формировании верхнего слоя асфальтобетона в дорожно-строительных работах можно повлиять на эксплуатационные показатели дорожных покрытий и увеличить их долговечность. Данную задачу возможно решить при использовании положений физико-химической механики высококонцентрированных дисперсных систем с учетом контактных взаимодействий, а также формирования структуры и свойств асфальтобетона. К основным показателям при технологии формировании смеси с асфальтовым гранулятом относят:

- равномерное распределение всех компонентов и подготовленного асфальтового гранулята по всему объему замеса.
- равномерное распределение битумной пленки постоянной толщины по низкодисперсным фракциям применяемого материала.
- равномерное распределение битумной пленки по поверхности фрезерованного асфальтового гранулята, имеющего на своей поверхности участки со старыми битумными пленками и участки сухих поверхностей, образовавшихся при предварительной подготовке (измельчении) гранулята.
- обеспечение структурированного водостойкого слоя в асфальтобетоне, а также упругих свойств в верхнем слое дорожного полотна за счет эластичных свойств битумной пленки на внешней ее оболочке.

Необходимые прочностные и упругие свойства верхнего слоя дорожного полотна обеспечиваются правильным выбором размерного ряда, применяемого асфальтового гранулята. Для определения удельной поверхности компонентов смеси можно использовать исследования профессора Королева И.В. Средняя удельная поверхность до предварительной подготовки асфальтового гранулята и после измельчения определяется по выражению (2) как средневзвешенная величина.

$$S_{yo} = \sum_{i=1}^n \frac{S_i \cdot P_i}{100} \quad (2)$$

где  $S_{yo}$  – средняя удельная поверхность материала, м<sup>2</sup>/кг;

$S_i$  – удельная поверхность  $i$  фракции м<sup>2</sup>/кг;

$P_i$  – массовая доля  $i$  фракции, %.

Для формирования дорожного полотна с заданными повышенными характеристиками прочности и устойчивости к сдвигу необходимо выполнить условие однородности, плотности и фракционного состава гранулята в объеме формируемой смеси. Прочность дисперсионной системы характеризуется выражением [9, 10]:

$$\sigma = \frac{kF_{cu} \cdot f(n)}{d^2} \quad (3)$$

где  $\sigma$  – прочность дисперсионной системы;

$k$  – коэффициент, учитывающий микрогеометрию структуры;

$F_{cu}$  – значение сил взаимодействия между частицами;

$f(n)$  – коэффициент концентрации дисперсной фазы в дисперсной среде;

$d$  – размер частицы (дисперсная фаза).

Согласно выражению (3) прочность дисперсионной системы зависит от размера частиц измельченного гранулята, а также от увеличения сил взаимодействия между частицами. Согласно физико-химической механики для достижения прочности дисперсионной системы является условие максимального разрушения структуры гранулята и достижение большой подвижности на первоначальном этапе процесса формирования дорожного полотна.

Однако необходимо учитывать изменение свойств асфальтобетона и старение вяжущего в грануляте, в процессе эксплуатации предыдущего дорожного покрытия, а также присутствие сухих необработанных поверхностей измельченного гранулята. Использование пластификатора близкого по химическому углеводородному составу к среде битума позволяет обеспечить образование на всей поверхности измельченного асфальтового гранулята равномерной технологической пленки. Толщина пленки составляет от 2 до 12 мкм и зависит от размера гранулята [11-13]. В процессе формирования смеси целесообразна обработка сухих поверхностей на которых отсутствуют пленки «старого» битума поверхностно-активными веществами (ПАВ). Данная обработка обеспечивает повышенное взаимодействие в зоне контакта гранулята и битума. Формируются слои, состоящие из молекул ПАВ на всей поверхности частицы гранулята.

В процессе горячей подготовки новой асфальтобетонной смеси «старые» битумные пленки, которые находятся на поверхности подготовленного гранулята не разрушаются и имеют прочную связь с поверхностями минеральных частиц.

Введение в состав смеси неизмельченного гранулята до 30% от общего объема смеси позволяют сократить содержание битума на 1,5-2,2 %, а минерального порошка до 5% (Лупанов А.П. Совершенствование, научное обоснование и промышленное освоение технологического процесса производства асфальтобетонных смесей с использованием «старого» асфальтобетона: 05.17.08). Гранулят измельченный и попавший в размерный ряд 0,05 – 1 мм заменяет мелкофракционные компоненты смеси (в соответствии с ГОСТ Р 52129-2003, материал, полученный при помоле твердых отходов промышленного производства, классификация – МП-2, используется в асфальтобетонных смесях). С экономической составляющей это эффективно, так как минеральный порошок и битум являются наиболее дорогостоящими компонентами асфальтобетонной смеси.

### **Результаты исследования и их анализ**

Определение прочностных и деформационных характеристик при формировании верхнего слоя дорожного покрытия с технологией применения подготовленного асфальтового гранулята проводилась при ремонте автомобильных дорог общего пользования Кировской области строительной организацией АО «Вятавтодор» (г. Киров). Данные экспериментальные исследования по формированию и укладке дорожного полотна проходили в рамках реализации национального проекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги» (БКАД). АО «Вятавтодор» проводивший весь комплекс работ, имеет в наличии необходимую дорожно-строительную технику, приборную базу и контрольно-измерительное оборудование.

На первом этапе производилась предварительная подготовка асфальтового гранулята по типоразмеру. Отфрезерованный верхний слой дорожного покрытия подвергался измельчению и сортировке на три типоразмера (0,05 – 5) мм, (5 – 30) мм и (30 – 60) мм. Образующие фракции размером более 60 мм подвергались дополнительному измельчению и сортировке. В соответствии с ГОСТ Р 55052-2012 допускается зерновой состав гранулята (тип Б) с содержанием зерен крупнее 5 мм до 50% состава минеральной части. Объемная доля использования асфальтового гранулята составляла 20% – 25% от общего объема смеси, а фракционный состав применялся трех типоразмеров. Гранулят соответствующий мелкофракционному размеру (0.05-5) мм использовался в объеме 30 % от общего объема, используемого гранулята. Размерный ряд (5-30) мм составлял 45 % и максимальный размер гранулята соответствующий (30-65) мм находился в пределах 25 % от общего объема гранулята. Данный гранулометрический состав обусловлен тем, что применение более 30% размера гранулята (0.05-5) мм приводит к уменьшению прочности коагуляционных и фазовых

контактов, повышению адгезии и водостойкости [7, 11]. Однако при этом развиваются упругие и пластические деформации по толщине слоев асфальтобетона, что в условиях эксплуатации приводит к сдвигу и нарушению ровности верхнего слоя дорожного покрытия (согласно исследованиям Кузина Н.В. научная спец. 05.23.11). Применение гранулята размерного ряда (30-60) мм более 25% и (5-30) мм более 40 % по суммарному объему асфальтового гранулята приводит к упрочнению дорожного покрытия с ухудшением деформационных характеристик верхних слоев дорожного покрытия [18].

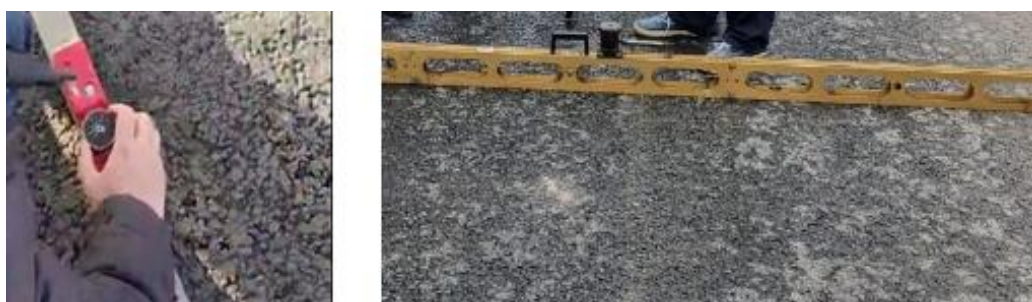
На втором этапе формировалась горячая асфальтобетонная смесь. При этом гранулят обрабатывался поверхностно активными веществами, данное условие важно для поверхностей предварительно измельченного асфальтового гранулята, имеющего одновременно участки с пленками от предыдущего асфальтобетона и сухие не обработанные поверхности с битумной пленкой в зоне контакта. В смесь битума вводился пластификатор углеводородного состава близкий к используемому битуму. В зоне контакта происходило формирование битумной пленки постоянной толщины, а также повышение адгезия вяжущего.

На следующем этапе формировался верхний слой дорожного полотна (подготовленной асфальтобетонной смесью) при ремонтных и восстановительных работах автомобильных дорог общего пользования Кировской области и проводился процесс постепенного уплотнения горячей асфальтовой смеси соответствующими катками. В процессе укатки зерна наполнителя и компоненты смеси перераспределяются относительно друг к другу, а воздушные пустоты между ними заполняются асфальтовязующим веществом – смесью битума и минерального порошка.

По результатам проведенных экспериментальных исследований дорожного покрытия с асфальтовым гранулятом показатель предела прочности при температуре 20°C находится в пределах (4,35 - 4,75) МПа, что на 10 % больше по сравнению с асфальтобетонным покрытием (без применения гранулята).

Состояние асфальтобетона и его срок эксплуатации соответствует нормативному сроку не менее пяти лет при интенсивности движения транспортного потока по полосе движения до 10000 авт./сут. (согласно приказу Минтранса России от 05.02.2019 N 37 (ред. от 17.08.2021) «Об утверждении типовых условий контрактов на выполнение работ по строительству (реконструкции), капитальному ремонту, ремонту автомобильных дорог, искусственных дорожных сооружений и информационной карты типовых условий контракта»).

На рисунке 3 представлен метод инструментального анализа по определению ровности верхнего слоя дорожного покрытия с использованием дорожной рейки.



*Рисунок 3 – Инструментальное измерение дефектов дорожного покрытия.*

Показатель напряжения сдвига определялся с помощью пластомера и учитывался зависимостью:

$$T_{50} = k_k \frac{N}{h^2} \quad (4)$$

где  $N$  – нагрузка во время испытания;

$h$  – глубина погружения конуса;

$k_k$  – численное значение константы конуса (угол заострения 30°).

Результаты исследований других авторов по данному направлению следующие: авторами [14, 15] предложен предел замены крупного заполнителя бетона в 50%, однако при этом объемные свойства нарушаются, рекомендуется использовать заменители не более 25%; положительные результаты от вторичного заполнителя бетона получены при работе авторов [16, 17] при замене до 30% смеси; продолжаются работы по улучшению прочностных характеристик с помощью химической, термической и биологической обработки гранулята [18]; коллективом исследователей [19, 20] выявлена энергопоглощающая прочность бетона с добавлением старого асфальтобетона до (35-40)% при использовании стандартного оборудования.

### **Выводы**

Определены факторы, влияющие на состояние асфальтобетона и срок эксплуатации на дорогах общего пользования с заданными эксплуатационными свойствами при формировании дорожного полотна с гранулятом трех типоразмеров (0,05 – 5) мм, (5 – 30) мм и фракции (30 – 60) мм.

В зависимости от прочностных и деформационных показателей определен гранулометрический ряд и процентное соотношение каждого типоразмера присутствующего гранулята в смеси. В состав смеси входит гранулят в соотношении 30% мелкодисперсной фракции (0,05-5) мм, 45% имеющий размер (5-30) мм и 25% фракция (30 – 60) мм. Объемный состав гранулята в общем объеме смеси составляет от 20% до 25%.

Повышение эксплуатационных показателей дорожного покрытия оказывает влияние на комплексные показатели работы транспортного средства, а также на безопасность дорожного движения. Формирование качественного покрытия гарантирует нормативный период срока эксплуатации асфальтобетона и в целом развитие дорог общего пользования в условиях городской застройки.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Гуторов К.В., Павлова В.А. Универсальные добавки, улучшающие характеристики асфальтобетонных смесей // student. 2021. Т. 4. №. 4.
2. Zifeng Z., Feipeng X., Serji A. Recent applications of waste solid materials in pavement engineering // Waste Management. 2020. Vol. 108. Pp. 78-105. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.04.024>.
3. Jin Li, Feipeng X., Lanfang Z., Serji N. Amirkhanian Life cycle assessment and life cycle cost an alysis of recycled solid waste materials in highway pavement: A review // Journal of Cleaner Production. 2019. Vol. 233. Pp. 1182-1206. doi.org/10.1016/j.jclepro. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.061>.
4. Joke A., Wim Van den bergh, Johan B. Review and environmental impact assessment of green technologies for base courses in bituminous pavements // Environmental Impact Assessment Review. 2016. Vol. 60. Pp. 139-147. <https://doi.org/10.1016/j.eiar>.
5. Juliana O. Costa, Paulo H.R. Borges, Flávio A. dos Santos, Augusto Cesar S. Bezerra, Wim Van den bergh, Johan Blom. Cementitious binders and reclaimed asphalt aggregates for sustainable pavement base layers: Potential, challenges and research needs // Construction and Building Materials. 2020. Vol. 265. Article 120325. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat>.
6. Abbaas I. Kareem, Performance of hot-mix asphalt produced with double coated recycled concrete aggregates // Construction and Building Materials. 2019. Vol. 205. Pp. 425-433. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.02.023>.
7. Mills-Beale, J. The mechanical properties of asphalt mixtures with Recycled Concrete Aggregates // Constr. Build. Mater. 2010. No. 24(3). Pp. 230–235. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.08.046>.
8. Farina A., Zanetti M.C., Santagata E., Blengini G.A. Life cycle assessment applied to bituminous mixtures containing recycled materials: Crumb rubber and reclaimed asphalt pavement // Resources, Conservation and Recycling. 2017. No.117. Pp. 204–212. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.10.015>.
9. Углова Е.В., Бессчетнов Б.В. Влияние погодно-климатических факторов на усталостную долговечность асфальтобетона //Известия высших учебных заведений. Строительство. 2009. № 7. С. 70–76.
10. Qasrawi H., Asi I Effect of bitumen grade on hot asphalt mixes properties prepared using recycled coarse concrete aggregate // Constr. Build. Mater. 2016. No. 121. Pp. 18–24. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.05.101>.
11. Лупанов А.П., Басков А.Н. Переработка старого асфальтобетона с применением технологии электромагнитного измельчения // Изв. вузов. Химия и химическая технология. 2008. Т. 51. Вып. 2. С. 108-110.

12. Лупанов А. П., Силкин В.В., Рудакова В.В., Гладышев Н.В., Силкин А.В. и др. Повторное использование асфальтобетона // СТТ: Строительная техника и технологии. 2016. Т. 4. №. 4. С. 76– 79.
13. Бадоев В. А., Лупанов А. П., Таршис М. Ю. Новый подход к использованию старого асфальтобетона в дорожном строительстве // Научные итоги года: достижения, проекты, гипотезы. 2011. №. 1-1. С. 277–281.
14. Hisham Q., Ibrahim A. Effect of bitumen grade on hot asphalt mixes properties prepared using recycled coarse concrete aggregate // Construction and Building Materials. 2016. Vol. 121. Pp. 18-24. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.05.101>
15. Khodair Y., Raza M. Sustainable self-consolidating concrete using recycled asphalt pavement and high volume of supplementary cementitious materials // Construction and Building Materials. 2017. Vol. 131. Pp. 245-253. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.11.044>.
16. Marshall V., Raman J., Ramasamy V. Various treatment techniques involved to enhance the recycled coarse aggregate in concrete: A review // Materials Today: Proceedings. 2021. Vol. 45. Part 7. Pp. 6356-6363. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.935>.
17. Pasandin A.R., Pérez I. Mechanical properties of hot-mix asphalt made with recycled concrete aggregates coated with bitumen emulsion // Construction and Building Materials. 2014. Vol. 55. Pp. 350-358. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.01.053>.
18. Chidozie Maduabuchukwu Nwakaire, Soon Poh Yap, Chiu Chuen Onn, Choon Wah Yuen, Hussein Adebayo Ibrahim Utilisation of recycled concrete aggregates for sustainable highway pavement applications; a review // Construction and Building Materials. 2020. Vol. 235. Article 117444. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117444>.
19. Huang B., Shu X., Li G. Laboratory investigation of portland cement concrete containing recycled asphalt pavements // Cement and Concrete Research. 2005. Vol. 35. Pp. 2008-2013. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2005.05.002>.
20. Pérez P., Agrela F., Herrador R., Ordoñez J. Application of cement-treated recycled materials in the construction of a section of road in Malaga, Spain // Construction and Building Materials. 2013. Vol. 44. Pp. 593-599. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.02.034>.

## REFERENCES

1. Gutorov K.V., Pavlova V.A. Universal'nye dobavki, uluchshayushchie harakteristiki asfal'tobetonnyh smesey. StudNet, 2021. T. 4. No. 4.
2. Zifeng Z., Feipeng X., Serji A. Recent applications of waste solid materials in pavement engineering. Waste Management. 2020. Vol. 108. Pp. 78-105. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.04.024>.
3. Jin Li, Feipeng X., Lanfang Z., Serji N. Amirkhanian Life cycle assessment and life cycle cost an alysis of recycled solid waste materials in highway pavement: A review. Journal of Cleaner Production. 2019. Vol. 233. Pp. 1182-1206. [doi.org/10.1016/j.jclepro](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.061). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.061>.
4. Joke A., Wim Van den bergh, Johan B. Review and environmental impact assessment of green technologies for base courses in bituminous pavements. Environmental Impact Assessment Review, 2016. Vol. 60. Pp. 139-147. <https://doi.org/10.1016/j.eiar>.
5. Juliana O. Costa, Paulo H.R. Borges, Flávio A. dos Santos, Augusto Cesar S. Bezerra, Wim Van den bergh, Johan Blom. Cementitious binders and reclaimed asphalt aggregates for sustainable pavement base layers: Potential, challenges and research needs. Construction and Building Materials. 2020. Vol. 265. Article 120325. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat>.
6. Abbaas I. Kareem, Performance of hot-mix asphalt produced with double coated recycled concrete aggregates. Construction and Building Materials. 2019 Vol. 205. Pp. 425-433. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.02.023>.
7. Mills-Beale, J. The mechanical properties of asphalt mixtures with Recycled Concrete Aggregates // Constr. Build. Mater. 2010. No. 24(3). Pp. 230–235. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.08.046>.
8. Farina A., Zanetti M.C., Santagata E., Blengini G.A. Life cycle assessment applied to bituminous mixtures containing recycled materials: Crumb rubber and reclaimed asphalt pavement // Resources, Conservation and Recycling. 2017. No. 117. Pp. 204–212. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.10.015>.
9. Uglova E.V., Besschetnov B.V. Vliyanie pogodno-klimaticheskikh faktorov na ustalostnuyu dolgovechnost' asfal'tobetona // Izvestiya vysshih uchebnykh zavedenij. Stroitel'stvo. 2009. No. 7. Pp. 70–76.
10. Qasrawi H., Asi I Effect of bitumen grade on hot asphalt mixes properties prepared using recycled coarse concrete aggregate // Constr. Build. Mater. 2016. No. 121. Pp. 18–24. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.05.101>.
11. Lupanov A.P., Baskov A.N. Pererabotka starogo asfal'tobetona s primeneniem tekhnologii elektromagnitnogo izmel'cheniya // Izv. vuzov. Himiya i himicheskaya tekhnologiya. 2008. T. 51. Vyp. 2. Pp. 108-110.
12. Lupanov A. P., Silkin V.V., Rudakova V.V., Gladyshev N.V., Silkin A.V. i dr. Povtornoie ispol'zovanie asfal'tobetona // STT: Stroitel'naya tekhnika i tekhnologii. 2016. T. 4. No. 4. Pp. 76– 79.
13. Badoev V. A., Lupanov A. P., Tarshis M. YU. Novyj podhod k ispol'zovaniyu starogo asfal'tobetona v dorozhnom stroitel'stve // Nauchnye itogi goda: dostizheniya, proekty, gipotezy. 2011. No. 1-1. Pp. 277–281.

14. Hisham Q., Ibrahim A. Effect of bitumen grade on hot asphalt mixes properties prepared using recycled coarse concrete aggregate // Construction and Building Materials. 2016. Vol. 121, Pp. 18-24. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.05.101>
15. Yasser Khodair, Mahmood Raza Sustainable self-consolidating concrete using recycled asphalt pavement and high volume of supplementary cementitious materials. // Construction and Building Materials. 2017. Vol. 131. Pp. 245-253. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.11.044>.
16. Vengadesh Marshall Raman J., Ramasamy V. Various treatment techniques involved to enhance the recycled coarse aggregate in concrete: A review // Materials Today: Proceedings. 2021. Vol. 45. Part 7. Pp. 6356-6363. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.935>.
17. Pasandin A.R., Pérez I. Mechanical properties of hot-mix asphalt made with recycled concrete aggregates coated with bitumen emulsion. // Construction and Building Materials. 2014. Vol. 55. Pp. 350-358. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.01.053>.
18. Chidozie Maduabuchukwu Nwakaire, Soon Poh Yap, Chiu Chuen Onn, Choon Wah Yuen, Hussein Adebayo Ibrahim Utilisation of recycled concrete aggregates for sustainable highway pavement applications; a review. // Construction and Building Materials. 2020. Vol. 235. Article 117444. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117444>.
19. Baoshan Huang, Xiang Shu, Guoqiang Li Laboratory investigation of portland cement concrete containing recycled asphalt pavements // Cement and Concrete Research, 2005. Vol. 35. Pp. 2008-2013. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2005.05.002>.
20. Pérez P., Agrela F., Herrador R., Ordoñez J. Application of cement-treated recycled materials in the construction of a section of road in Malaga, Spain. // Construction and Building Materials. 2013. Vol. 44. Pp. 593-599. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.02.034>.

#### **Информация об авторах:**

##### **Бузиков Шамиль Викторович**

ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», г. Киров, Россия,  
кандидат технических наук, доцент кафедры строительного производства.  
E-mail: [shamilvb@mail.ru](mailto:shamilvb@mail.ru)

##### **Мотовилова Марина Владимировна**

ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», г. Киров, Россия,  
заведующий лабораторией кафедры технология машиностроения.  
E-mail: [marina\\_mtd@mail.ru](mailto:marina_mtd@mail.ru)

#### **Information about authors:**

##### **Buzikov Shamil V.**

Vyatka State University, Kirov, Russia,  
candidate of technical sciences, associate professor of the department of construction production.  
E-mail: [shamilvb@mail.ru](mailto:shamilvb@mail.ru)

##### **Motovilova Marina V.**

Vyatka State University, Kirov, Russia  
head of the laboratory of the department of mechanical engineering technology.  
E-mail: [marina\\_mtd@mail.ru](mailto:marina_mtd@mail.ru)