

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УЛЬТРАЗВУКА В РЕЦИРКУЛЯЦИИ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРЫТИЯ

Артющик В.С.1), Чжан Цин2), Минченя В.Т.3), Алексеев Ю.Г.1), Нисс В.С.1)

1) Государственное предприятие «Научно-технологический парк БНТУ «Политехник», ул. Сурганова, 37/1, 220013, г. Минск, post@.park.bntu.by

2) Henan Gaoyuan Highway Maintenance Technology Co., Ltd, 7379349@qq.com

3) Белорусский национальный технический университет, пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, vladimir.minchenya@park.bntu.by

В статье приведены результаты исследования по определению целесообразности разработки технических решений в области технологий получения материалов для дорожного строительства с использованием ультразвукового воздействия. Установлено, что ультразвуковое воздействие позволяет повысить проникающую способность регенерирующих добавок, снижает водонасыщение и жесткость асфальтобетонных смесей, приготовленных с использованием асфальтогранулята.

**Ключевые слова:** дорожное строительство, асфальтобетон, асфальтогранулят, ультразвук, регенерирующая добавка

В строительстве дорожных покрытий, большую долю в себестоимости выполнения работ занимает процент затрат на материал, его производство и транспортировку. Поэтому повторное использование материала старого асфальтобетонного покрытия - ресайклинг существенно снижает финансовые затраты. И применение технологий ресайклинга дорожных покрытий является весьма актуальным и находит широкое применение, особенно в таких странах как США и ЕС, где высока протяженность автомагистралей с асфальтобетонным покрытием. В большинстве стран, особенно где запасы сырьевых ресурсов не высокие, до 80% асфальтовых покрытий, после эксплуатации используются повторно. Используются разнообразные технологии ресайклинга. Наиболее известные разработчики и производители специализированной техники в этой сфере являются немецкие и американские компании: Германия – комплексы фирм «Wirtgen» и «Hamm», оборудование фирмы «Teerbau» совместно с фирмой «Ammann»; США - комплексы фирм «Roadtec», «Caterpillar», «Roadtec», «Terex», оборудование фирм «Iowa Manufacturing» (Cedarapids), «Boing air space Company» (Pirocon), «G.M.I.» (Rotocycler).

В Китае основным разработчиком и производителем оборудования для содержания дорог является компания «Henan Gaoyuan Maintenance Technology of Highway Co. Ltd.», основанная в 2004 году. Её производство охватывает большое количество серий оборудования для содержания дорог и испытания дорожных покрытий. Компания имеет свой научно-исследовательский центр и постоянно разрабатывает, модернизирует и совершенствует выпускаемую технику под современные технологии дорожного строительства. В том числе и для выполнения дорожных ремонтных работ.

Компанией выпускается мобильный рециклер – машина для содержания дорожного покрытия типа HGY5130NYH (рис. 1), в основном используется для ямочного ремонта. К достоинствам машины следует отнести быстрый набор температуры, использование вторичных ресурсов, эксплуатация непосредственно при разборке старого покрытия, сохранение свойств асфальтобетонной смеси с отсутствием её расслоения.

Специалисты компании «Henan Gaoyuan Maintenance Technology of Highway Co. Ltd.» совместно с белорусскими учеными в рамках проекта «Outstanding Foreign Scientist Studio of Green Low-carbon Technology for Pavement Construction and Maintenance» (Grant No.: GZS2022004) (道路绿色低碳建养技术杰出外籍科学家工作室 (项目号: GZS2022004)) проводят исследования, связанные с применением ультразвукового воздействия при

рециклинке дорожного покрытия с использованием асфальтогранулята и битумного вяжущего.



Рис. 1. Мобильный рециклер – машина для содержания дорожного покрытия типа HGY5130NYH

Из анализа предыдущих исследований следует учитывать, что:

- введение асфальтогранулята и наличие в его составе состаренного битума оказывает существенное влияние на физико-механические свойства асфальтобетонной смеси, и как следствие снижается долговечность асфальтобетонного покрытия [1];

- асфальтобетоны, изготовленные горячим методом с асфальтогранулятом, имеют повышенную сдвигоустойчивость по сравнению с традиционными плотными асфальтобетонами. Но, введение асфальтогранулята снижает температурную и усталостную трещиностойкость асфальтобетона, что обусловлено старением битума в процессе устройства и эксплуатации асфальтобетонного покрытия. Увеличение содержания асфальтогранулята приводит к росту значения коэффициента водостойкости асфальтобетона, а значение коэффициента морозостойкости падает. В связи с чем, достаточной долговечностью обладают асфальтобетонные смеси с содержанием до 20% асфальтогранулята [2].

Причиной снижения долговечности асфальтобетона является недостаточная «активность» используемого асфальтогранулята. Под активностью следует понимать способность вяжущего в составе асфальтогранулята образовывать после нагрева и последующего остывания прочные связи, способные выдерживать многократную транспортную нагрузку. Степень активности асфальтогранулята определяется количеством и качеством битума на поверхности зерен минеральных частиц.

Активность асфальтогранулята может быть повышена улучшением реологических свойств битума. Одним из возможных вариантов является обработка поверхности асфальтогранулята регенерирующими «омолаживающими» составами [3]. Известно, что при добавлении в асфальтогранулят регенерирующих добавок физико-механические свойства битума восстанавливаются. При этом проникающая способность добавок в структуру материала имеет решающее значение. За счет изменения группового химического состава состаренного битума восстанавливается работоспособность асфальтобетона, приготовленного с использованием асфальтогранулята [4, 5].

Возможным решением задачи обеспечения проникновения добавок в структуру асфальтогранулята может стать применение ультразвуковой технологии. На сегодняшний день энергия ультразвука широко применяется для ускорения технологических процессов в самых разных сферах производства, протекающих в жидких, твердых и газообразных средах. Наиболее широко ультразвуковое воздействие применяется в жидких средах за счет использования явления кавитации, которое повышает эффективность процессов очистки,

диспергирования, пропитки. Использование ультразвука в твердых средах осуществляется при наличии гомогенной среды для распространения ультразвуковых колебаний [6].

В целях установления перспективности использования ультразвукового воздействия в процессе регенерации материалов для дорожного строительства проведено исследование воздействия ультразвука на асфальтогранулят, осуществляемое для повышения его «активности», т.е. повышения способности асфальтового вяжущего в составе асфальтогранулята образовывать с использованием технологии нагрева и последующего остывания прочные и долговечные связи [3].

На первом этапе исследования изготовлено лабораторное оборудование в составе чаши с прикрепленным к ее днищу излучателем ультразвука мощностью 30 Вт и генератора мощностью 100 Вт. Асфальтогранулят массой 30,0 грамм размещали в чаше. Добавляли 1% покрашенной жидкости и в течение 1 минуты осуществляли механическое перемешивание. Далее в чаше было размещено аналогичное количество асфальтогранулята и жидкости. Однако, перемешивание осуществлялось при одновременном ультразвуковом воздействии. После извлечения из чаши с помощью стереоскопического микроскопа проводилось визуальное сравнение полученных образцов асфальтогранулята.

Установлено, что при ультразвуковом воздействии краситель в меньшей мере оставался на поверхности гранул, а через поры (микротрещины) интенсивно проникал внутрь. Полученный результат обосновывается ультразвуковым капиллярным эффектом (открытие, зарегистрированное в СССР № 109 от 31 мая 1961 г., автор - академик Академии наук БССР Е.Г. Коновалов) – и состоит в том, что под действием ультразвуковых колебаний увеличивается высота подъема жидкостей в капиллярах и ускоряется сам процесс проникновения жидкостей в капилляры. Время пропитки сокращается в 3 - 4 раза и более. Различные исследователи обращают внимание на роль волн, распространяющихся в теле капилляра, изменение вязкости и смачиваемости под действием ультразвуковых колебаний, а также на кавитационные явления на границе жидкости с твердым телом.

На втором этапе исследования изготовлено лабораторное оборудование в составе цилиндрической емкости (ванны) с прикрепленными к ее днищу шестью излучателями ультразвука мощностью 50 Вт каждый и генератора мощностью 400 Вт. Использовали асфальтогранулят, приготовленный путем дробления на мелкую фракцию 5,0-7,5 мм и общей массой 800,0 г. К нему добавлялось минеральное моторное масло 10W40 с массовой долей 1,4% от массы асфальтогранулята и вносилась адгезионная добавка амфотерного типа ДАД-1 в количестве 0,015% от массы асфальтогранулята или около 2% от массы битума в составе асфальтогранулята.

ДАД-1 содержит анионные и катионные функциональные группы и применяется в дорожном строительстве для улучшения сцепления нефтяного дорожного битума с каменными материалами, как кислых, так и основных пород. Важно, что ДАД-1 экологически чистый продукт, производится из абсолютно безопасного для человека экологически чистого сырья, имеет очень низкую рыночную стоимость и очень технологичен в использовании.

Подготовленная смесь механически перемешивалась в течение 2 минут. Затем в ванне размещалась новая аналогичная по массе партия асфальтогранулята и аналогичное количество моторного масла и добавки ДАД-1. Перемешивание осуществлялось также в течение 2 минут, однако оно уже сопровождалось ультразвуковым воздействием.

Оценка полученных результатов осуществлялась визуальным методом посредством изучения срезов образцов асфальтогранулята с помощью стереоскопического микроскопа. Визуально асфальтогранулят, подвергнутый ультразвуковому воздействию, выглядит более насыщенным. При этом добавка ДАД-1 действует в основном как смазка между гранулами. Стоит отметить, что в ванне после обработки асфальтогранулята с использованием ультразвука оставалось гораздо меньшее количество компонентов, смешиваемых с асфальтогранулятом, чем при обработке без ультразвукового воздействия.

Затем проводились испытания образцов асфальтогранулята на прочность на прессе при температуре 20°C, в соответствии с практикой проведения испытаний контрольных проб на стандартных образцах асфальта на прочность в нормальных условиях. Результаты испытаний приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты испытаний на прочность

Исследуемые образцы	Давление разрушения при 20°C, МПа
Асфальтогранулят (в исходном состоянии)	8,39
Асфальтогранулят + 0,015% ДАД-1 + 1,4% масла без УЗ	4,90
Асфальтогранулят + 0,015% ДАД-1 + 1,4% масла с УЗ	3,13

Полученные результаты свидетельствуют о том, что взаимодействие добавки ДАД-1 с асфальтогранулятом приводит к снижению прочности полученных образцов, что является показателем снижения жесткости битума в составе асфальтогранулята. Разрушенные образцы исследовались на стереоскопическом микроскопе. Установлено, что в образцах, обработанных ультразвуком, при разрушении практически не появлялись растрескивания и выкрашивания каменного материала, т.е. разрушение в основном происходило по битумным пленкам, что косвенно указывает на снижение жесткости битума.

На третьем этапе исследования в ванне лабораторного оборудования проводилось смешивание в течение 2 минут асфальтогранулята с добавкой ДАД-1, в соотношении составляющих аналогично предыдущему этапу. Дополнительно вносили битум с массовой долей 2,5% от массы асфальтогранулята. Смешивание также проводилось двумя способами с и без наложения ультразвука.

Аналогичным образом было произведено смешиванием асфальтогранулята с минеральным моторным маслом 10W40 с массовой долей 0,015% от массы асфальтогранулята. В целях создания контрольного образца провели смешивание без ультразвукового воздействия асфальтогранулята с битумом с массовой долей 2,6% от массы асфальтогранулята. Далее были проведены испытания полученных образцов на прочность. Результаты испытаний приведены в таблице 2.

На четвертом этапе исследования в ванне лабораторного оборудования проводилось смешивание асфальтогранулята с добавкой (стабилизатором) АНТ, массовая доля которой составляла 1,2% от массы асфальтогранулята. Смешивание проводилось в течение 2 минут двумя способами: с осуществлением и без осуществления ультразвукового воздействия. Ионный стабилизатор АНТ, представляет собой водорастворимую активную органоминеральную добавку, содержащую амфотерные поверхностно-активные вещества и микроэлементы. Данные модификаторы создают прочные кристаллизационные и коагуляционные связи, применение которых рекомендуется совместно с минеральным вяжущим веществом. В этом случае модификатор способствует повышению физико-механических характеристик, а также снижению расхода минерального вяжущего.

Таблица 2. Результаты испытаний на прочность.

Исследуемые образцы	Давление разрушения при 20°C, МПа
Асфальтогранулят + 2,6% битума без УЗ	6,51
Асфальтогранулят + 0,015% ДАД-1 + 2,5% битума без УЗ	2,13
Асфальтогранулят + 0,015% ДАД-1 + 2,5% битума с УЗ	1,73
Асфальтогранулят + 0,015% масла без УЗ	3,54
Асфальтогранулят + 0,015% масла с УЗ	4,01

Далее было проведено исследование водонасыщения полученных образцов по стандартной методике. Полученные результаты приведены в таблице 3.

Таблица 3. Результаты исследования водонасыщения

Исследуемые образцы	Водонасыщение, в % от объёма
Асфальтогранулят	7,80
Асфальтогранулят + 0,015% ДАД-1 + 1,4% масла без УЗ	1,10
Асфальтогранулят + 0,015% ДАД-1 + 1,4% масла с УЗ	1,01
Асфальтогранулят + 0,015% масла с УЗ	1,12
Асфальтогранулят + 0,015% масла без УЗ	1,24
Асфальтогранулят + 1,2% АНТ без УЗ	3,08
Асфальтогранулят + 1,2% АНТ с УЗ	2,71
Асфальтогранулят + 0,01% ДАД-1 + 2,5% битума без УЗ	1,56
Асфальтогранулят + 0,015% ДАД-1 + 2,5% битума с УЗ	1,42

Снижение водонасыщения после ультразвукового воздействия свидетельствует о том, что вода в меньшей степени проникала в поры (микротрещины) асфальтогранулята. Это обуславливается тем, что поры (микротрещины) асфальтогранулята в результате ультразвукового воздействия были в большей степени заполнены компонентами, с которыми непосредственно смешивался асфальтогранулят

На основании того, что ультразвуковое воздействие снижает уровень водонасыщения и жесткости асфальтогранулята за счет более полного заполнения пор и микротрещин жидкими компонентами, можно сделать вывод о росте степени активности асфальтогранулята. Как следствие это определяет количество и качества битума на поверхности зерен минеральных частиц в асфальтогрануляте и расширяет способность вяжущего в составе асфальтогранулята образовывать после нагрева и последующего остывания прочные связи.

Таким образом, использование ультразвуковых технологий при производстве рециклинга дорожного покрытия можно охарактеризовать как перспективное направление, особенно в рамках процессов регенерации асфальтобетона. При обработке ультразвуком асфальтогранулята повышается глубина проникновения используемых при смешивании компонентов в поры, трещины и пустоты асфальтогранулята, что позволяет улучшить технические характеристики получаемого асфальтобетона.

#### Литература

1. Инновационные асфальтобетонные смеси / Н.В. Майданова [и др.] // Дороги России. 2020. №1 (115). С.42-53
2. Игошкин Д.Г. Применение асфальтогранулята при устройстве асфальтобетонных покрытий // Мир дорог. 2014. №73. С. 65-69.
3. Игошкин Д.Г., Кравченко С.Е. Активность асфальтогранулята – фактор, определяющий эффективность его применения в асфальтобетонных смесях // Автомобильные дороги и мосты. – Минск : БелдорНИИ. 2016. № 2. С. 67-70.
4. Определение расчетного срока службы асфальтобетонных смесей, приготовленных с использованием регенерирующих добавок [Электронный ресурс]. - Режим доступа : <https://www.npfselena.ru/opredelenie-raschetnogo-sroka-sluzhby-asfaltobetonnyh-smesei-prigotovlennyh-s-ispolzovaniem-regeneriruyushhih-dobavok/> . – Дата доступа: 02.02.2021.
5. Теплоустойчивость и теплообмен дорожных покрытий / Б.М. Хрусталева, ЛюТингуо, В.Д. Акельев, Ли Чжунюй, Ю.Г. Алексеев, В.В. Занкович // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2019. № 62(6). С. 536-546.
6. Ультразвуковые процессы в производстве изделий электронной техники / С.П. Кундас, В.Л. Ланин, М.Д. Тявловский [и др.] Под общ. ред. акад. НАН Беларуси А.П. Достанко. Минск : Бестпринт, 2002. В 2 т., т. 1. 404 с.