

Интернет-журнал «Транспортные сооружения» / Russian Journal of Transport Engineering <https://t-s.today>

2022, Том 9, № 4 / 2022, Vol. 9, No 4 <https://t-s.today/issue-4-2022.html>

URL: <https://t-s.today/PDF/09SATS422.pdf>

DOI: 10.15862/09SATS422 (<https://doi.org/10.15862/09SATS422>)

## Влияние регенерированной асфальтобетонной смеси на колейность автомобильных дорог

**Ярышкин И.А.**

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет», Санкт-Петербург, Россия

**Автор, ответственный за переписку:** Ярышкин Игорь Андреевич, e-mail: igor1999.yia@gmail.com

**Аннотация.** Интенсивное образование колеи на поверхности дорожных конструкций является одной из основных проблем дорожной отрасли не только России и стран СНГ, но и европейских государств.

Наличие колейности влечет за собой снижение как безопасности, так и комфортности дорожного движения. Она препятствует отводу воды с поверхности проезжей части, что может плохо влиять как и на долговечность самого покрытия, так и на безопасность движения, ввиду возможности возникновения эффекта глиссирования, повышается риск потери управления автомобилем при выезде или въезде в колею в процессе совершения маневра, а так же увеличиваются затраты на поддержание соответствия нормативным требованиям дороги, в связи с чем представляет собой большие финансовые убытки, травмируют экономику государства, а так же увеличивают аварийность.

В данной научно-исследовательской работе автор рассматривает причины возникновения колеи, способы борьбы с ней, ее виды, методы устранения, в том числе с

применением технологии ресайклинга, и векторы выбора методик исследования данного вопроса, затрагивается тема вторичной переработки, что соответствует общему вектору государства, о защите экологии, отражает результаты изучения зарубежного опыта. В исследовании отдается предпочтение критериям комфорта, безопасности, экономичности и современности.

Автор научно-исследовательской работы рассматривает гипотетические условия, при которых процент колейности на автомобильных дорогах с асфальтобетонным покрытием уменьшится.

Исходя из эффективности предложенных условий был сделан вывод о целесообразности применения метода горячего ресайклинга на заводе и произведено лабораторное обоснование данного утверждения.

**Ключевые слова:** асфальтобетон; колееобразование; вторичная переработка; регенерированная асфальтобетонная смесь; RAP; асфальтогранулят; горячий ресайклинг на заводе

## Influence of the regenerated road concrete mix on the wheel tracking of highways

Igor A. Yryshkin

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg, Russia

**Corresponding author:** Igor A. Yryshkin, e-mail: igor1999.yia@gmail.com

**Abstract.** Intensive wheel tracking on the road structures' surface is one of the main road industry problems not only in Russia and the Commonwealth of Independent States countries but also in European countries.

The presence of wheel tracking entails a decrease in both road traffic safety and comfort. It prevents water removal from the roadway surface, which can adversely affect both the coating durability itself and traffic safety, due to the gliding effect possibility, the risk of losing control of the car when leaving or entering the track during a maneuver increases, as well as the costs of maintaining compliance with the regulatory requirements of the road are also increasing, and therefore it represents large financial losses, injures state economy, and also increases the accident rate.

In this research work, the author considers the causes of the wheel tracking occurrence, ways to deal with it, its types,

elimination methods, including recycling technology, and the vectors for choosing methods for studying this issue, the topic of recycling is touched upon, which corresponds to the general state vector, on the protection of the environment, reflects the results of studying foreign experience. The study prioritizes the criteria of comfort, safety, economy, and modernity.

The author of the research work considers hypothetical conditions under which the wheel tracking percentage on roads with asphalt concrete pavement will decrease.

Based on the proposed conditions' effectiveness, it was concluded that it is expedient to use the hot recycling method at the plant and a laboratory justification for this statement was made.

**Keywords:** asphalt concrete; wheel tracking; recycling; regenerated road concrete mix; RAP; asphalt granulate; hot recycling in a plant

Данная статья доступна по лицензии Creative Commons “Attribution” («Атрибуция») 4.0 Всемирная

This article is available under the Creative Commons “Attribution” 4.0 Global License

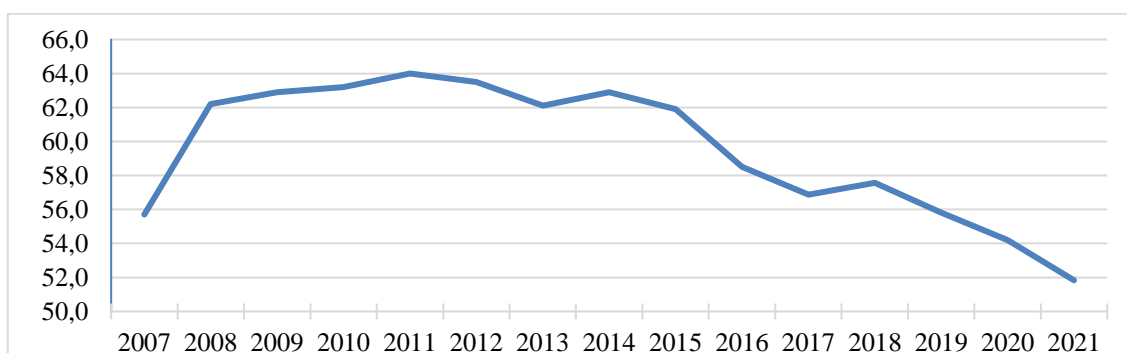


## Введение

### Introduction

Важнейшей задачей дорожной отрасли Российской Федерации, отраженной в национальном проекте «Безопасные и качественные автомобильные дороги» и в Техническом Регламенте таможенного союза «Безопасность автомобильных дорог», является коренное улучшение состояния автомобильных дорог и транспортной инфраструктуры в целом. Наряду с обеспечением безопасного и бесперебойного проезда транспортных средств по автомобильным дорогам общего пользования важная роль отводится повышению эффективности финансовых затрат, направленных на дорожную деятельность. К этому следует добавить, что в соответствии с Постановлением Правительства РФ № 658 от 30.05.2017 увеличены сроки проведения межремонтных работ. Для ремонта до 12 лет и для капитального ремонта (реконструкции) — до 24 лет.

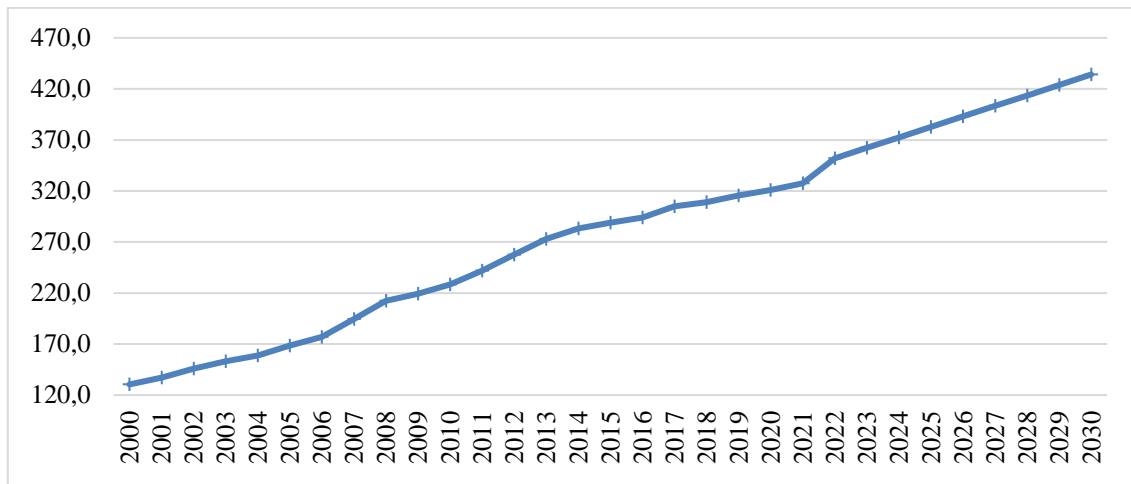
Проблема колееобразования на дорогах приобрела особую актуальность не только в нашей стране, но и за рубежом, поскольку несет за собой снижение эксплуатационных свойств асфальтобетона, безопасности дорожного движения ввиду нарушения поверхностного водоотвода и возникающего вследствие такого явления, как глиссирование, пагубное влияние на экологию и экономику государства в целом. Анализ литературы по теме показал, что изучением данного вопроса занимаются ученые всего мира, но на данный момент универсального решения так и не найдено. При этом статистика демонстрирует положительные тенденции. В результате запуска национального проекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги» в 2017 году доля автомобильных дорог общего пользования, не отвечающих нормативным требованиям, уменьшилась на 8,8 %, однако за весь период наблюдения за дорожной сетью с 2007 года доля уменьшилась всего на 6,9 % (рис. 1).



**Рисунок 1.** Доля автомобильных дорог общего пользования, не отвечающих нормативным требованиям с 2007 года по 2021 (составлено/разработано автором)

**Figure 1.** Percentage of public roads not meeting regulatory requirements from 2007 to 2021 (compiled/developed by the author)

По данным Федеральной службы государственной статистики за период с 2000 года до 2021 года число собственных легковых автомобилей на 1000 человек населения выросло в 2,51 раза, а именно со 130,5 ед. до 315,5 ед. Если тенденция сохранится, то к 2030 году это значение может достичь до 440 автомобилей на 1000 человек (рис. 2).



*Рисунок 2. Количество собственных легковых автомобилей на 1000 человек населения по субъектам Российской Федерации с 2000 года с прогнозом до 2030 года (составлено/разработано автором)*

*Figure 2. The number of owned cars per 1000 people in the constituent entities of the Russian Federation since 2000 with a forecast until 2030 (compiled/developed by the author)*

Представленное исследование нацелено на поиск решений по снижению процента колеи на стадии ремонта и реконструкции, исходя из экономических и экологических эффектов, при условии увеличении интенсивности.

Цель исследования: выявление и анализ причин и механизмов образования колеи, определение и проверка гипотетических условий совершенствования способов профилактики и борьбы с колееобразованием покрытий автомобильных дорог, приводящих к снижению затрат на ремонт.

Методы исследования:

1. Теоретический анализ и обобщение научной литературы, периодических изданий, о проблеме колееобразования, методах борьбы с ним.
2. Экспериментально-теоретический натурные лабораторные замеры на объектах, лабораторные испытания, выезд на укладку экспериментального асфальтобетона, анализ полученных данных.

# 1. Причины образования колеи в Северо-Западном Федеральном округе и методы борьбы с ним

## 1. Track formation causes in the Northwestern Federal District and the method of combating it

Колея рассматривается как деформация поперечного профиля с образованием углубления и гребней выпора по полосе наката вследствие остаточных деформаций в слоях дорожной одежды и земляного полотна, накопления пластических деформаций покрытия, а также абразивного износа при многократном воздействии колес, в том числе с шипованными шинами.

В основном колея образуется на нежестких дорожных покрытиях с коагуляционными структурами, а именно с применением асфальтобетона на основе битумного вяжущего.

Как и любая деформация колеиность возникает при сочетании нескольких внешних факторов, в числе которых: воздействие и род нагрузок от автомобиля, климатические условия, особенно температура воздуха и влажность грунта, и внутренних факторов, определяемых физико-механическими характеристиками дорожной конструкции, такими как: сдвигоустойчивость, степень уплотнения слоев дорожной одежды, разновидности и влажности грунта рабочего слоя.

В классификации по причинам колееобразования выделяют следующие виды:

- колеиность, возникающая вследствие развития остаточных деформаций в подстилающих слоях дорожной одежды и в грунтах земляного полотна, включая основание насыпей, если они представляют собой слабые грунты или иными факторами, разрушающими земляное полотно;
- колеиность, вызванная пластическими деформациями (остаточными) в асфальтобетонном покрытии;
- колеиность, обусловленная истирающим воздействием автомобильных шин, в том числе шипованными, на асфальтобетон.

По мнению специалистов-дорожников из Санкт-Петербурга только 19 % всей колеиности обусловлено деформированием собственно асфальтобетонных слоев, а остальные 81 % относятся к остаточным деформациям слоев основания и/или просадкам в теле насыпи [1].

Как отмечалось в предыдущих исследованиях, колееобразование, вызванное структурными разрушениями грунтов основания, решается на стадии проектирования и изысканий, а остаточных пластических деформаций асфальтобетона путем внедрения и применения методики Supergravel, высококаркасных смесей и применения полимерных вяжущих, однако данное утверждение имеет противоречие с фактическими показателями с объектов [2–6].

Например, полученные лабораторные замеры в г. Тверь в рамках гарантийного обследования объектов 2020 и 2021 года. Данные замеры проводились на объектах ш. Петербургское (от Артиллерийского пер. до ул. Хромова) и Третьяковский пер. (мост через реку Тверца в створе ул. Красина — ул. Добролюбова), которые показали превышение допуска в 1,25–2,9 раз, спустя уже 2 года эксплуатации в первом случае и в 1,25–4,9 раза, на данных объектах устроены высококаркасные ЩМА (Щебёночно-мастичный асфальтобетон), из этого выходит противоречие, что применение новых смесей безусловно улучшают характеристики покрытий, однако не является универсальным решением.

## **2. Теоретические основы устранения колее с применением методики вторичной переработки асфальтобетона**

### **2. Theoretical foundations for the wheel tracking elimination using asphalt concrete waste recycling method**

При рассмотрении ситуации с колееобразованием с точки зрения сложности ее профилактики на стадии проектирования, требуется изучение различных вариантов ее ликвидации при условии минимально возможных затрат. В данном случае речь идет об экономии путем применения вторичной переработки асфальтобетона.

В контексте вторичной переработки мы имеем дело с такими факторами, как инженерно-технические, экологические и собственно экономические. В итоге мы ожидаем получить качественное покрытие, возможно, с приобретением новых физ.-мех. свойств при минимальном воздействии на окружающую среду, а также минимальной стоимости.

Асфальтобетон — один из основных материалов для вторичной переработки в мире, используемый с начала 70-х годов.

Повторное использование асфальтобетона имеет такие достоинства, как:

- снижение применения невозобновляемых природных ресурсов;
- минимизирование отходов и сохранение окружающей среды;
- отсутствие воздействия на грунтовое основание, если не планируется вмешательство специально;
- улучшение физических свойств покрытия вследствие модификации существующего гранулометрического состава минеральной части и вяжущего;
- экономическое преимущество по сравнению с традиционными методами восстановления.

Важно признать, что повторное использование асфальтобетона — это мощный метод восстановления дорожных покрытий. При правильном применении регенерированный асфальтобетон дает долгосрочную экономическую выгоду, обеспечивая в то же время безопасность и качество дорожного покрытия.

Повторное использование асфальтобетона можно разделить на две категории, исходя из используемых методов, которые постепенно внедряются или уже введены в России. Речь идет о холодном и горячем ресайклинге [7].

## 2.1 Холодный ресайклинг

### 2.1 Cold recycling

Регенерированный асфальт известен как «RAP» или «reclaimed asphalt pavement» — восстановленное асфальтовое покрытие). «Холодным» процесс считается из-за того, что RAP используется в качестве заполнителя при приготовлении ХАС (холодной асфальтобетонной смеси). При холодном ресайклинге имеющееся старое асфальтобетонное покрытие сфрезировывается, дробится до требуемых фракций и впоследствии смешивается с вяжущим, например, с битумной эмульсией или же с вспененным битумом [7].

#### **Холодный ресайклинг на заводе / Cold recycling at the factory.**

На данный момент это самый непопулярный метод переработки. Он заключается в приготовлении холодной смеси из RAP с добавлением на стационарном или мобильном заводе. В смесь могут добавляться добавки для повышения вязкости старого битума, а также новый заполнитель для увеличения общих эксплуатационных характеристик. На выходе получается холодный материал, используемый в качестве стабилизированного слоя основания дорожной одежды. Но ввиду большого количества требуемых манипуляций, устройство завода,

доставка снятого покрытия, переработка на заводе и перемещение на непосредственное место производства работ, данный метод не несет экономической выгоды, так как самоходный ресайклер может достигать почти тех же результатов с затратами втрое меньше.

### **Холодный ресайклинг на месте / Cold recycling on site.**

Методика холодного ресайклинга на месте включает в себя переработку и обогащение существующих покрытий из ГАС (Горячей Асфальтобетонной Смеси) без нагрева с добавлением битумного вяжущего и других химических добавок для производства восстановленного слоя. Этот метод идентичен методу холодного ресайклинга на заводе, только работы выполняются непосредственно на рабочей площадке с применением «поезда» из оборудования.

## **2.2 Горячий ресайклинг**

### **2.2 Hot Recycling**

«Горячим» этот метод называется по причине использования RAP в качестве заполнителя при приготовлении ГАС. При горячем ресайклинге старое асфальтобетонное покрытие снимается, дробится до необходимых размеров и добавляется в новую горячую асфальтобетонную смесь [8].

### **Регенерированная горячая смесь (РГС) / Regenerated Hot Mix (RHM).**

Регенерированная горячая смесь — самый распространенный и экономически эффективный метод использования RAP. Новая смесь производится на АБЗ (Асфальтобетонном заводе циклического или непрерывного действия), в которую добавляется некий процент RAP. Обычно процент крошки составляет от 10 до 25 % по весу на циклических заводах и 30–50 % на заводах непрерывного действия, однако цифры требуют дополнительного анализа. Существует практика, когда процент внедряемого асфальтогранулята мог достигать до 80 %.

### **Горячий ресайклинг на месте / Hot recycling on site.**

Горячий ресайклинг на месте самая старая методика из вышеуказанных. Первое ее применение описано в 1930-х годах, а в 1975 году после появления современных дорожных холодных фрез, которые обеспечивали низкую себестоимость работ, экологичность и качественное измельчение асфальтобетона, она начала терять свою актуальность.

### **Горячее рыхление / Hot cultivation.**

При этом методе применяется установка, нагревающая поверхность дорожного покрытия, которая взрыхляет его при помощи блока



невращающихся зубьев, вводит посредством распыления восстанавливающую добавку для улучшения характеристик состарившегося вяжущего в покрытии, далее перемешивает и разравнивает переработанную смесь при помощи стандартной шнековой системы. Дальнейшее уплотнение производится при помощи стандартных звеньев уплотнения.

### **Репэйвинг (обновление дорожного покрытия) / Repaving (updating pavement road surface).**

При этом методе (путем нагрева и дальнейшего рыхления и/или фрезерования) снимается верхний слой существующего покрытия на глубину от 25 до 50 мм, впрыскивается обновляющая добавка для улучшения подвита вяжущего, получившийся материал укладывается в качестве выравнивающего слоя при помощи первичной плиты, одновременно с этим устраивается верхний тонкий слой из ГАС толщиной до 25 мм. Уплотняются эти два слоя посредством укатки обычными катками одновременно и сразу после ресайклинга.

### **Ремиксинг / Remixing.**

Данный метод применяется в случае необходимости добавки дополнительного заполнителя или для придания покрытию дополнительной прочности и устойчивости. Он идентичен репэйвингу, за исключением того, что в случае ремиксинга перед укладкой в переработанный материал добавляется новый материал или дополнительно новая горячая смесь.

Из всех описанных методов предпочтение ложится на регенерированную горячую смесь или горячий ресайклинг на заводе. Ввиду главного отличия от других методик, при производстве RAP сортируется и предварительно дробится на заводе, тем самым достигается наиболее однородный гранулометрический состав, представляется возможность экспериментального подбора объема и физических свойств добавок, а также операционного контроля качества выпускаемой смеси.

Другие методики горячего ресайклинга не рассматриваются ввиду своей неточности в выходном материале, сложности и дороговизны оборудования.

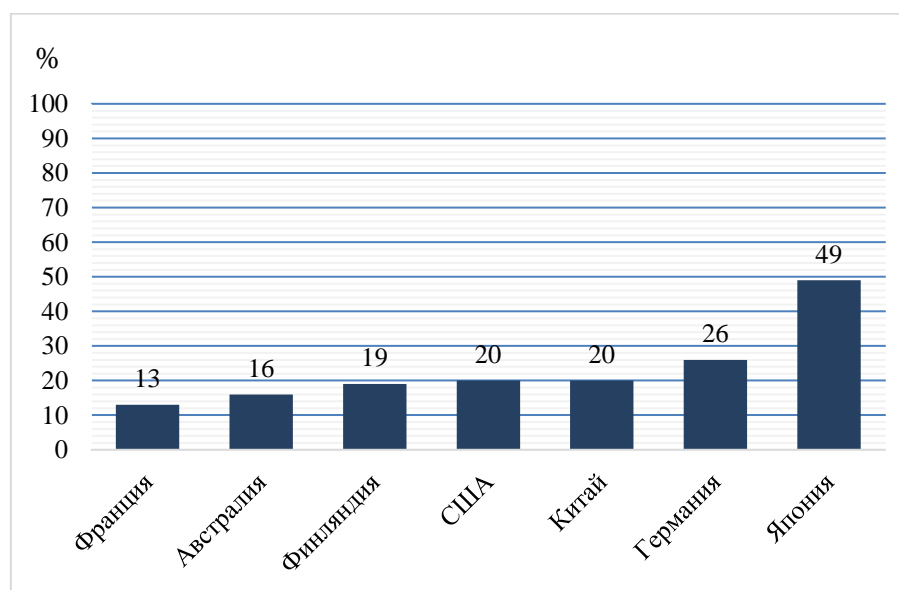
## **3. Опыт использования регенерированного асфальтогранулята за рубежом**

### **3. Experience in using reclaimed asphalt granulate abroad**

Как уже отмечалось ранее, методика вторичной переработки имеет множество преимуществ, такие как снижение потребности в

невозобновляемых ресурсах, снижение выбросов; она менее энергозатратна и экономична, так как не требуется добыча и транспортировка исходного сырья ввиду частичной замены состава возвратными материалами.

Для более наглядного сравнения результатов развития данной технологии составлена диаграмма по данным разных стран. Однако открытых данных по объемам RAP в составе новых смесей в России не обнаружено (рис. 3).



*Рисунок 3. Сравнение процентного содержания RAP в составе новых смесей (составлено/разработано автором)*

*Figure 3. Comparison of the percentage of RAP in the composition of new mixtures (compiled/developed) by the author)*

### 3.1 Опыт Соединенных Штатов Америки

#### 3.1 The experience of the United States

В США еще с 70-х годов 20-ого века вследствие увеличения стоимости углеводородов RAP стал самым перерабатываемый материалом, и возникла потребность изучения смесей со степенью содержания RAP от 30 до 70 %. Однако в процессе исследования возникли проблемы с характеристиками материала, а именно его неоднородностью, состоянием вяжущего, вследствие чего рассматриваемый процент содержания гранулята снизился до 10–25 % [9]. Общее количество RAP, используемого в асфальтобетонных смесях, составило 76,2 млн т в 2017 году при среднем содержании в смеси RAP 20 %. [10] Это на 0,91 % меньше, чем было в 2016 году, тем не менее, в сравнении со строительным сезоном 2009 года общее увеличение количества RAP составило около

36 %, при том, что общий тоннаж смеси асфальтобетона увеличился всего на 5,9 %.

В общей сложности применение RAP позволило сэкономить более 2,1 млрд долл. США (138 млрд руб. на тот год) на протяжении строительного сезона 2017 года.

В перспективе Американскими специалистами обозначены методы увеличения процентного содержания RAP за счет применения набирающей популярность технологии производства ТАБ (теплых асфальтобетонов), которая позволяет использовать большее количество RAP в смесях, так как при низких температурах смешивания ТАБ приводят к меньшему старению вяжущего в процессе производства смеси. Ввиду того факта, что первичное вяжущее меньше окисляется, при смешивании с гранулятом оно компенсирует характеристики состаренного вяжущего в крошке, вследствие чего новая смесь получается устойчивее к усталостному и низкотемпературному растрескиванию, при этом сохраняющая устойчивость к пластическим деформациям.

В 2017 году было проведено исследование, в котором производилось сравнение эффективности смесей с RAP и из первичных материалов на основании данных из 16 штатов США и Канады о Долгосрочная программ повышения эффективности дорожного покрытия «Long-Term Pavement Performance» (LTPP).

Результаты показывают, что характеристики верхнего слоя, содержащего 30 % RAP, соответствуют характеристикам верхнего слоя, из полностью новых смесей.

На полигоне Национального центра асфальтовых технологий «National Center for Asphalt Technology» (NCAT) в Алабаме были выделены тестовые секции, на которых ВСП (Верхний Слой Покрытия) выполнили из теплого асфальтобетона на вспененном битуме с 50 % RAP. В результате данного испытания было выявлено, что характеристики тестовых секций превосходят показания контрольных секций из стандартного асфальтобетона. Однако стоит добавить, что в данном исследовании не говорится о характеристиках контрольных секций, так как разность показаний контрольных и тестовых секций можно объяснить наличием вспененного битума, который улучшает характеристики новых асфальтобетонных смесей, при этом не указывается наличие восстанавливающих или каких-либо других добавок. Несмотря на это эксперименты и исследования американской дорожной индустрии продемонстрировали выгодность применения методики RAP из-за своих эксплуатационных свойств ни в чем не уступающих обычным смесям, а по ряду параметров, даже превосходящих их [11].

## 3.2 Опыт Японии

### 3.2 The experience of Japan

В отличие от США, в Японии на RAP приходится в среднем 49 % в составе смеси, так как переработка старого асфальтового покрытия является стандартным технологическим процессом. Переработка асфальтогранулята в Японии началась практически в то же время, что и в США, а именно в 1970–1980-х годах. Японские разработки оказались более успешными с точки зрения повышенного содержания RAP в составе асфальтобетона [12]. На данный момент в Японии около 1150 асфальтовых заводов, которые производят около 50 млн тонн горячей асфальтобетонной смеси ежегодно, из которых смеси с RAP составляют около 38 млн тонн. Среднее содержание RAP в асфальтобетонных смесях увеличилось с 33 % до 47 % с 2000 по 2013 год. Его итоговое среднее содержание варьируется в среднем от 20 % до 60 % в зависимости от расположения регион.

Факторы, которые повлияли на наличие такого высокого процента содержания RAP в Японии. Их можно разделить на политические, культурные и технические.

Политические и культурные факторы включают в себя особое отношение к необходимости сохранения сырья, во избежание экономических потерь. В Японии имеется ряд законов об окружающей среде, которые требуют особого подхода в отношении повторного использования асфальтогранулята. Вследствие чего, основной движущей силой увеличения процентного содержания RAP, является банальная экономия ресурсов. Японские производители асфальтобетонных смесей придерживаются простых процессов контроля разработок смесей и материалов с фокусированием на характеристиках. Таких как, рациональный подбор гранулометрического состава с RAP, испытания на Маршалах, тщательная сортировка асфальтогранулята по его физическим характеристикам.

Основными аспектами Японского метода включают в себя:

- сушку и нагрев асфальтогранулята в отдельном параллельном сушильном аппарате, тем самым обеспечивая минимальное наличие влаги;
- применение тепловых окислителей для обеспечения лучшей просушки, снижения экономических издержек и минимизирования вредных выбросов в атмосферу;
- малые объемы выпуска 100–180 метров кубических в час, предположительно такое ограничение нужно для обеспечения активации смешанных восстанавливающих добавок;

- дополнительное время для активации смешенных восстанавливающих добавок.

### 3.3 Опыт Европы

#### 3.3 The experience of Europe

Европейская ассоциация асфальтовых покрытий «European Asphalt Pavement Association» (ЕАРА) работает над тем, чтобы асфальт использовался с точки зрения его ценности, а исследования, касающиеся разработки новых технологий, имели достаточную поддержку. На данный момент в эту организацию входят национальные промышленные ассоциации из 15 европейских стран. Ежегодно готово к использованию около 50 млн тонн регенерированного асфальта. За последние 25 лет развития технологии содержание RAP в новых смесях может достигать 90 %.

По данным ЕАРА за 2017 год, в таких странах, как Австрия и Франция, процент возврата RAP в смеси составлял около 70 %, в Германии около 85 %, а в Финляндии практически 100 % регенерированного асфальтогранулята вернулось в состав смесей.<sup>1</sup>

Отдельно следует обратиться к опыту ФРГ. RAP в Германии в экономически значимых масштабах применяется с 1978 г. В 1994 году был достигнут максимальный объем производства в 69 млн т. Количество используемого в составе асфальтобетонных смесей RAP увеличилось с 0,3 млн т в 1982 г. до приблизительно 11,5 млн т в наши дни.

- отдельно извлекать и хранить демонтированные слои асфальта в соответствии с их характеристиками;
- тщательно обрабатывать с мягким нагревом асфальтовый гранулят для получения удовлетворяющей требованиям асфальтовой смеси, а также;
- путем использования асфальтового гранулята производить асфальтовую смесь для всех слоев, которая не уступает по своим свойствам асфальтовой смеси, изготовленной только из свежих строительных материалов.

---

<sup>1</sup> Recommendations for Road Authorities to achieve circular economy goals through the maintenance, re-use and recycling of asphalt EAPA Position Paper; EAPA: Brussels, Belgium, 2020. [https://www.asphalt.de/fileadmin/user\\_upload/downloads/EAPA-Broschüren/tc-22-n1311-recommendations-for-road-authorities.pdf](https://www.asphalt.de/fileadmin/user_upload/downloads/EAPA-Broschüren/tc-22-n1311-recommendations-for-road-authorities.pdf) (дата обращения 12.11.2022).

Как правило, асфальтовый гранулят нагревается:

- с помощью горячих зернистых фракций горных пород (загружаемых периодически или непрерывно);
- совместно с зернистыми фракциями горных пород или в специальных устройствах.

### **Периодическая подача асфальтового гранулята / Intermittent supply of asphalt granulate.**

Асфальтовый гранулят (АГ) подается в смеситель либо с помощью промежуточного бункера и весов для взвешивания зернистой фракции горной породы, либо через отдельный весовой дозатор периодического действия. Нагрев гранулята осуществляется в смесителе с помощью горячих зернистых фракций горной породы.

Поскольку укладка и уплотнение готовой асфальтовой смеси существенно зависит от температуры смеси (в смесителе), то установленные согласно условиям договора предельные значения для температур смесей не должны занижаться. Тепло, необходимое для отвода асфальтового гранулята, вытягивается из неиспользованных зернистых фракций горной породы. Поэтому они (неиспользованные фракции) должны соответственно больше нагреваться. К тому же, влага, содержащаяся в асфальтовом грануляте, должна выпариваться.

Добавляемое количество асфальтового гранулята, как правило, составляет не более 30 % по массе и определяется его влагосодержанием и необходимой температурой горячих зернистых фракций горной породы.

**Таблица 1 / Table 1**

#### **Сравнения доли содержания гранулята и коррекции температуры исходя из влажности RAP**

#### **Comparison of portion granulate content and temperature correction based on RAP moisture**

Доля асфальтового гранулята в % по массе A portion of asphalt granulate in % by weight	Влажность асфальтового гранулята в % по массе The moisture content of asphalt granulate in % by weight					
	1	2	3	4	5	6
	Коррекция температуры, °C Temperature correction, °C					
10	4	8	12	16	20	24
15	6	12	18	24	30	36
20	8	16	24	32	40	48
25	10	20	30	40	50	60
30	12	24	-	-	-	-

Данные взяты с сайта ассоциации Deutscher Asphaltverband (DAV), Wiederverwenden von Asphalt [https://www.asphalt.de/fileadmin/user\\_upload/downloads/dav/wiederverwenden\\_2014.pdf](https://www.asphalt.de/fileadmin/user_upload/downloads/dav/wiederverwenden_2014.pdf) / Data taken from the association website of the Deutscher Asphaltverband (DAV), Wiederverwenden von Asphalt [https://www.asphalt.de/fileadmin/user\\_upload/downloads/dav/wiederverwenden\\_2014.pdf](https://www.asphalt.de/fileadmin/user_upload/downloads/dav/wiederverwenden_2014.pdf)

## **Непрерывная подача асфальтового гранулята / Continuous supply of asphalt granulate.**

Другая возможность нагрева асфальтового гранулята с помощью горячих зернистых фракций горной породы реализуется его подачей:

- на выпускную сторону сушильного барабана или в элеватор для горячей транспортировки;
- в ситовый короб с обходным каналом.

В сушильных барабанах, которые работают по противоточной схеме (это имеет место в большинстве установок), подача асфальтового гранулята может осуществляться через центральное место загрузки или через соответствующее приспособление на выпускной стороне барабана. При этом асфальтовый гранулят нагревается вместе с зернистыми фракциями горной породы.

При использовании обоих способов добавляемое количество асфальтового гранулята может достигать примерно до 40 % по массе. Благодаря увеличению времени нагревания не происходит внезапное образование водяного пара, поскольку дозирование асфальтового гранулята осуществляется непрерывно. Процесс подачи асфальтового гранулята управляется с помощью ленточных весов.

В Германии есть ограничения по используемым маркам битума в работе с АГ:

1. Может быть использован либо битум того же сорта, что и требующийся битум, или же битум не более чем на один сорт мягче требуемого битума.
2. При добавлении АГ температура размягчения смешанного битума должна быть в пределах требуемой марки для АБС.
3. Более низковязкие сорта дорожного битума чем 70/100 не должны использоваться.

Как и у Японских специалистов, Немецкая методика увеличения процента содержания RAP, заключается в качестве сортировки приходящего асфальтогранулята и качестве его просушки.

### **Китай / China.**

Технология ресайклинга асфальтового покрытия широко распространена в Китае. Популяризацией послужило вступление в силу в 2019 году второй редакции документа об обязательном повторном применении RAP в смесях, которая сняла ограничения по повторному применению RAP. Первая редакция документа ограничивала

использование RAP в смесях: верхние слои покрытия — до 20 %; нижние слои покрытия — до 30 %; верхние слои основания — до 40 %.

Фактором успеха китайских дорожных компаний в области применения технологий ресайклинга является современное оборудование. Больше половины асфальтобетонных заводов в КНР (Китайской Народной Республике) имеет собственное оборудование для подготовки материала, а также линию горячего ввода RAP, оснащенную дополнительным смесителем для RAP и системой ввода добавки-восстановителя вяжущего. Но основой применения технологии все же остается предварительная подготовка RAP на производстве.

Влияние содержания RAP (0, 20, 40 и 50 % соответственно) на дорожные характеристики двух разных типов смесей, обычной асфальтобетонной смеси AC-20 (Asphalt Cement-20, по пенетрации и растяжимости примерно соответствует битуму БНД (Битум Нефтяной Дорожный) 60/90) и модифицированной асфальтобетонной смеси AC-13, на основе динамического модуля, характеристик при высоких и низких температурах и восприимчивости к влаге, были исследованы характеристики, и основные выводы можно резюмировать следующим образом.

Добавление RAP улучшили динамический модуль и механическую прочность переработанной смеси, и чем выше содержание RAP, тем выше прочность. В условиях низкой частоты (высокой температуры).

1. По сравнению с первичным асфальтобетоном, стойкость к образованию колея при высоких температурах обоих типов переработанных смесей с использованием RAP была значительно улучшена.
2. Устойчивость к низкотемпературному растрескиванию двух различных типов асфальтобетонных смесей, переработанных повторно, имела тенденцию к увеличению с увеличением содержания RAP (от 0 до 50 %), а затем ослабевала, и наилучшие низкотемпературные характеристики были достигнуты, когда содержание RAP составляло 20 %.
3. Восприимчивость к влаге двух типов переработанных смесей показала тенденцию к увеличению, а затем к снижению с увеличением RAP и достигла наилучшего состояния, когда RAP составил 40 %.

Следует отметить, что содержание RAP влияет на характеристики переработанной асфальтобетонной смеси, главным образом из-за взаимодействия между первичным и состаренным асфальтобетонным вяжущим [13].



## 4. Отечественный опыт и нормативная документация применения методики гранулята старого асфальтобетона

### 4. Domestic experience and regulatory documentation for the use of the old asphalt concrete granulate method

В РФ действует ГОСТ Р 55052-2012 «Гранулят старого асфальтобетона. Технические условия», который определяет требования к данной продукции. В данном нормативе применяется термин «гранулят старого асфальтобетона» который не очень хорошо был принят специалистами, обычно этот вид продукции называют асфальтобетонный гранулят, или асфальтобетонная крошка. По классификации стандарта, учитывающей, в основном, крупность — агрегатный состав и наличие инородных включений.

Таблица 2 / Table 2

Перечень необходимых показателей АГ  
List of required asphalt granulate indicators

АГ Asphalt granulate	Минеральная часть АГ Asphalt granulate mineral part	Вязущее, выделенное из АГ Binder isolated from asphalt granulate
Максимальный размер Maximum size	Вид каменного материала (щебень) Type of stone material (crushed stone)	Вид вязущего Binder type
Содержание вязущего Binder content	Гранулометрический состав: максимальный диаметр зерен; доля 0/0,063 mm; доля 0,063/2 mm; доля 2/D Granulometric composition: maximum grain diameter; proportion 0/0.063 mm; proportion 0.063/2 mm; share 2/D	Температура размягчения Softening point
Истинная плотность True specific gravity	Форма зерен, лещадность Grain shape, flakiness	Глубина проникания иглы при 25°C Needle penetration depth at 25°C
Инородные включения Foreign particulate	Доля дробленых поверхностей A portion of crushed surfaces	
С какого слоя АГ отфрезерован From which layer the asphalt granulate is milled	Абразивный износ Abraser wear	
	Прочностные свойства Structural behavior	

[14]

На асфальтобетонный завод может поступать материал одного класса, но с разным характеристиками. Например, асфальтобетонный гранулят на щебне габбро и вязущем ПБВ (полимерно-битумное вязущее), сфрезерованный через 2 года, и АГ на граните и вязущем БНД, демонтированный спустя 8–20 лет. Таким образом, полученный АГ на АБЗ с разных объектов, предполагает

необходимость в раздельном складировании с делением по классам. Сегодня асфальтобетонная крошка, поступающая на производственные площадки заводов, не паспортизируется, все необходимые данные по продукту получаются из производственной лаборатории, после чего делится по разным классам, о чем многократно отмечалось и у иностранных производителей.

Обычно демонтаж покрытия производится холодным фрезерованием (на требуемую глубину), или с применением ударно-отбойного инструмента, в таком случае получается асфальтобетонный лом. В первом случае после фрезерования мы получаем АГ в готовом к использованию в некоторых типах смесей виде, во втором же случае снятое дорожное покрытие поступает в виде кусков разного размера — лома, который перед использованием в составе АБС требует дополнительной переработки (дробление и разделение по фракциям), что требует дополнительных трудозатрат на дробление, что уменьшает эффективность данного способа, не говоря уже об времени на демонтаж. Однако почти всегда сфрезерованный асфальтобетон также нужно разделять на фракции.

ГОСТ Р 55052 регламентирует объем партии при приёмке — до 2000 т продукта одного состава, в требованиях Германии регламентируется партия равной 500 т, подготовленной к применению. Следовательно, при внедрении данной технологии важным условием является наличие необходимого пространства для крытого и раздельного хранения асфальтового гранулята по фракциям, типу вяжущего, по виду минерального составляющего и агрегатному состоянию. Данные требования нужны для минимизации влажности АГ.

Первым делом для определения пригодности материала является указание, конструктивного слоя дорожной одежды с которого поступила партия АГ. По отечественному опыту и по НТ (Нормативным Требованиям) Германии, АГ из верхнего слоя покрытия приемлемо применять в АБС для всех слоев, гранулят из нижнего слоя покрытия — в АБС (Асфальтобетонной смеси) для нижних слоев покрытия и слоев основания, из слоя основания же исключительно в АБС для слоев основания соответственно.

Затем определяется максимально возможное содержание АГ в смеси (известной фракции с известного слоя и с понятным каменным материалом) На данном этапе оценивается однородность этой партии, для определения, в какие марки и типы асфальтобетонных смесей и в каком проценте можно использовать эту партию крошки, с учетом возможности имеющегося производственного оборудования для ввода АГ.

Решающим критерием для определения максимального количества добавляемого АГ является ограничения по вводу АГ имеющегося технологического оборудования и тип нагрева:

Нагрев крошки от щебня — так называемый холодный способ подачи АГ. Ограничения данной методики по вводу АГ — до 30 % с учетом влажности гранулята не более 3 % и температуры окружающей среды не менее +15°C.

Нагрев АГ через «кольцо» сушильного барабана. Ограничение по вводу АГ — до 40 %.

Нагрев в дополнительных устройствах — отдельный сушильный барабан для АГ. Ограничение по вводу АГ — до 100 % (в реальности до 80 %), что также отмечалось у иностранных специалистов.

Введенные в действие в нашей стране ПНСТ 244-2017 «Дороги автомобильные общего пользования. Переработанный асфальтобетон (РАР). Технические условия» и ПНСТ 245-2017 «Дороги автомобильные общего пользования. Переработанный асфальтобетон. Методика выбора битумного вяжущего при применении переработанного асфальтобетона (РАР) в асфальтобетонных смесях» регламентируют использование переработанного асфальтобетона (РАР) в АБС, основываясь на американском опыте объемного проектирования Суперпейв. Что требует дополнительного внимания касаясь влажности исходного материала ввиду того, что отечественные специалисты в т. ч. ЗАО «ВАД» отмечали в своих исследованиях факт возможности появления пластичности в процессе укладки при неблагоприятных влажностных условиях, что пересекается с пунктами, обозначенным ранее, об допустимом содержании РАР процента содержания влаги [15].

Основным критерием подбора битумного, вяжущего при проектировании составов смесей с содержанием РАР, является марка битумного вяжущего в соответствии с требованиями ПНСТ 85, определение которой в текущем рабочем режиме требует дорогостоящего лабораторного оборудования и времени. Определение максимально допустимого содержания переработанного асфальтобетона, отличающегося от европейского подхода.

В лабораторных условиях на базе АБЗ-1 были изготовлены АБС — без АГ, с 20, 40 и 50 % АГ без добавок и с 40 и 50 % с добавкой.

Для составов асфальтобетонных смесей с добавками и с 40 %, и с 50 % АГ были приготовлены модифицированные битумы. На модифицированных вяжущих, в лабораторных условиях, были приготовлены асфальтобетонные смеси с различным содержанием АГ.

Результаты физико-механических испытаний смесей представлены в таблицах 3 и 4.

Таблица 3 / Table 3

**Физико-механические свойства АБС с RAP**

**Physical and mechanical properties of asphalt mix with RAP**

Наименование показателей The name of the indicators	Фактические показатели Actual performance			
	0 % гранулята granulate	20 % гранулята granulate	40 % гранулята granulate	50 % гранулята granulate
Средняя плотность, г/см <sup>3</sup> Mass specific gravity, g/cm <sup>3</sup>	2,63	2,66	2,67	2,67
Водонасыщение, % по объему (1,0–4,0) Water saturation, % by volume (1.0–4.0)	1,6	1,7	2,1	2,1
Прочность при сжатии, МПа, при температуре +20°C Compressive strength, МPa, at a temperature of +20°C	3,27	3,50	3,65	3,68
+50°C	1,10	1,22	1,23	1,23
Водостойкость при длительном водонасыщении Water resistance with long-term water saturation	0,93	0,93	0,88	<b>0,83</b>
Сдвигоустойчивость по: - коэффиц. внутреннего трения (не менее 0,93) Shear resistance according to: - coefficient, internal friction (not less than 0.93)	0,97	0,97	0,98	0,95
- сцеплению при сдвиге при температуре 50°C, Мпа (не менее 0,18) - shear adhesion at a temperature of 50°C, МPa (not less than 0.18)	0,31	0,31	0,31	0,33
Трещиностойкость по пределу прочности на растяжение при расколе, при 0°C и скорости деформирования 50 мм/мин., Мпа (не менее 2,5 не более 6,0) Crack growth resistance in terms of tensile strength at the split, at 0°C and strain rate of 50 mm/min, МPa (not less than 2.5 not more than 6.0)	3,98	4,08	4,00	4,00
Средняя глубина колеи после 20000 проходов колеса, мм по EN12697.-22-:2003 Average track depth after 20000 wheel passes, mm according to EN12697.-22-:2003	1,5	1,4	1,3	1,3

*Составлено/разработано автором / Compiled/developed by the author*

Из данных таблицы 3 видно, что введение АГ в состав асфальтобетонной смеси приводит к увеличению прочностных свойств, к уменьшению показателей сдвигоустойчивости после 40 %, водостойкости, уменьшению глубины образования колеи при 60°C, повышению трещиностойкости. Изменение вышеперечисленных показателей подтверждает факт повышения жесткости смесей с АГ, что приводит к снижению эксплуатационной надежности асфальтобетонов с АГ. Следует обратить внимание на показатель средней глубины колеи, которая значительно снизилась. По одному из важнейших показателей долговечности асфальтобетона — показателю длительной водостойкости, составы с гранулятом не соответствуют требованиям ГОСТ 9128-2009,

однако тут возникает противоречие, на столько ли важен этот показатель, при условии что в новых ГОСТах предполагается наличие пустот.

Таблица 4 / Table 4

**Физико-механические свойства АБС с АГ и модифицированным битумом**  
**Physical and mechanical properties of a Asphalt concrete mixture with asphalt granulate and modified bitumen**

Наименование показателей The name of the indicators	Фактические показатели Actual performance		
	0 %	+40 % АГ asphalt granulate	+50 % АГ asphalt granulate
Средняя плотность г/см <sup>3</sup> Mass specific gravity g/cm <sup>3</sup>	2,63	2,63	2,63
Водонасыщение, % по объему Water saturation, % by volume	1,6	2,8	3,0
Прочность при сжатии, МПа, при температуре +20°C Compressive strength, МPa, at +20°C	3,27	3,26	3,29
+50°C	1,10	1,12	1,21
Водостойкость при длительном водонасыщении Water resistance with long-term water saturation	0,93	0,97	1,00
Сдвигоустойчивость по: - коэффиц. внутреннего трения Shear resistance according to: - coefficient. internal friction	0,97	0,97	0,98
- сцеплению при сдвиге при температуре 50°C, МПа - shear adhesion at a temperature of 50°C, МPa	0,31	0,31	0,32
Трещиностойкость по пределу прочности на растяжение при расколе при 0°C и скорости деформирования 50 мм/мин, МПа Crack growth resistance in terms of tensile strength at a split at 0°C and a strain rate of 50 mm/min, МPa	3,98	3,91	3,92
Средняя глубина колея после 20000 проходов колеса, мм по EN12697.-22-:2003 Average rut depth after 20000 wheel passes, mm according to EN12697.-22-:2003	1,5	1,4	1,2

*Составлено/разработано автором / Compiled/developed by the author*

Из данных таблицы 4 видно, что введение в составы асфальтобетонной смеси с АГ восстанавливающих добавок приводит к изменению показателей в сравнении с составами без добавок. Показатели прочности при сжатии при температурах 20°C и 50°C снизились и стали сопоставимы с показателями для состава без АГ. Улучшились сдвиговые характеристики, показатели водостойкости ухудшились, остались в пределах допуска, однако исходя из таблицы 3 это говорит о свойствах добавки. Показатели средней глубины также улучшились.

## Заключение

### Conclusion

Мировой и отечественный опыт показывает, что технология применения RAP в производстве асфальтобетонных смесей требует значительных ресурсовложений на модернизацию оборудования,

повышение квалификации сотрудников, дооснащения и расширение площадей завода, что на первый взгляд может показаться экономически не эффективной. Однако это поле для исследования.

Исследования и результаты практического опыта в области вторичного использования старого асфальтобетона должны быть открыты и доступны. Подрядные организации, компании-производители асфальтобетонных смесей, исследовательские центры, учебные заведения, производителями оборудования должны делиться своим опытом и мнениями о том, как строить экономически эффективные и безопасные, в плане экологичности покрытия.

Для улучшения обстановки колеиности с применением технологии регенерированного асфальтобетона, на дорогах Российской Федерации требуется:

1. Сушку и нагрев асфальтогранулята в отдельном параллельном сушильном аппарате, тем самым обеспечивая минимальное наличие влаги.
2. Применение тепловых окислителей для обеспечения лучшей просушки, снижения экономических издержек и минимизирования вредных выбросов в атмосферу.
3. Малые объемы выпуска 100–180 метров кубических в час, предположительно такое ограничение нужно для обеспечения следующего пункта
4. Отдельно извлекать и хранить демонтированные слои асфальта в соответствии с их характеристиками.
5. Тщательно обрабатывать с мягким нагревом асфальтовый гранулят для получения удовлетворяющей требованиям асфальтовой смеси, а также.
6. Путем использования асфальтового гранулята производить асфальтовую смесь для всех слоев, которая не уступает по своим свойствам асфальтовой смеси, изготовленной только из свежих строительных материалов. Гранулят из верхних слоев покрытия можно применять в смесях на все слои, в свою очередь RAP из нижних слоев, рекомендуется применять исключительно в нижних же слоях.
7. Добавление RAP улучшает динамический модуль и механическую прочность переработанной смеси, и чем выше содержание RAP, тем выше прочность. В условиях низкой частоты (высокой температуры) и при условии применения качественного гранулята

8. По сравнению с первичным асфальтобетоном, стойкость к образованию колеи при высоких температурах значительно улучшается.
9. Устойчивость к низкотемпературному растрескиванию имеет тенденцию к увеличению с увеличением содержания RAP (от 0 до 50 %), а затем ослабнет, и наилучшие низкотемпературные характеристики достигаются при содержании RAP — 20–40 %.
10. Дальнейшее развитие данной технологии и адаптацию иностранных нормативов к Российским реалиям.
11. Дополнительное изучения различных добавок и расчет экономически целесообразного радиуса работ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Васильев, Ю.Э.** Исследование устойчивости дорожно-строительных материалов к износу колееобразованию в условиях, приближенных к эксплуатационным / Ю.Э. Васильев, А.В. Ивачев, И. С. Братищев // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». — 2014. — № 5. — С. 11TVN514. — URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/11TVN514.pdf> (дата обращения: 20.08.2022).
2. **Кулешов, А.В.** Объемный метод проектирования составов асфальтобетонных смесей суперпейв / А.В. Кулешов // NovaInfo. — 2018. — Т 1. — № 89. — С. 69–86. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35560629> (дата обращения: 20.08.2022).
3. **Бестаев, Е.О.** Теоретические предпосылки применения технологии объёмно-функционального проектирования для борьбы с колееобразованием на высокоскоростных магистралях / Е.О. Бестаев, Т.А. Ларина // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. — 2022. — № 2. — URL: <https://www.adimadi.ru/madi/article/view/1130> (дата обращения: 25.08.2022).
4. **Ярышкин, И.А.** Проблемы колееобразования и методы борьбы с ними на автомобильных дорогах с асфальтобетонным покрытием / И.А. Ярышкин, А.М. Симановский // Инновации и долговечность объектов транспортной инфраструктуры (материалы, конструкции, технологии): материалы IV Всероссийской научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 18–19 ноября 2021 года / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации; Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2022. — С. 121–125. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49738835> (дата обращения: 15.11.2022).
5. **Ронжи, Цао** Суперпейв в Китае / Ронжи Цао // Дороги. Инновации в строительстве. — 2017. — № 61. — С. 102–105. — URL: <http://www.techinform-press.ru/images/stories/pdf/roads61/61.pdf> (дата обращения: 20.08.2022).
6. **Колесник, Д.А.** Практический опыт внедрения системы «Суперпейв» / Д.А. Колесник, Д.В. Пахаренко // Мир дорог. — 2018. — № 109. — С. 30–33. — URL: <https://zaovad.ru/upload/file/2018/12/11/kolesnik-paharenko-md-2018-109-s30-33.pdf> (дата обращения: 21.10.2022).
7. **Никишин, В.Е.** Опыт применения ресурсосберегающей технологии холодного ресайклинга / В.Е. Никишин // Техническое регулирование в транспортном строительстве. — 2020. — № 1. — С. 15–18. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42801524> (дата обращения: 12.10.2022).

8. **Тюльпинов, Д.О.** Обзор исследований ученых института автомобильных дорог Брауншвейгского технического университета в области реологических исследований вяжущего / Д.О. Тюльпинов, В.А. Денисов, Е.С. Буданова // Семьдесят пятая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов с международным участием. Часть 2 / Ярославль: Ярославский государственный технический университет, 2022. — С. 545–553. — URL: <https://www.ystu.ru/files/nauka/2022/Часть2%20СборнКонф.pdf> (дата обращения: 12.10.2022).
9. **Zaumanis, M.** Towards production of 100 % recycled asphalt / M. Zaumanis, R.B. Mallick, R. Frank // E&E Congress 2016. 6th Eurasphalt & Eurobitume Congress. 1–3 June 2016. Prague, Czech Republic / Прага: Czech Technical University, 2016. — С. 3493–3502. — URL: <https://www.h-a-d.hr/pubfile.php?id=966> (дата обращения: 11.11.2022).
10. **West, R.** Best Practices for RAP And RAS Management / R. West. — Quality Improvement Series 129. — Лэнхэм: National Asphalt Pavement Association, 2015. — 42 с. — URL: <https://trid.trb.org/view/1526425> (дата обращения: 11.11.2022).
11. **Крупнин Н.В.** Опыт повторного применения дорожного асфальтобетона в США / Крупнин Н.В. // Дороги России. — 2018. — № 5. — С. 12–19. — URL: <https://www.npfselena.ru/wp-content/uploads/2019/07/Н.Крупнин-Опыт-повторного-применения-дорожного-асфальтобетона-в-США.pdf> (дата обращения: 11.11.2022).
12. **West, R.** High RAP Asphalt Pavements: Japan Practice-Lessons Learned-NAPA. Information Series 139 / R. West, A. Copeland. — Information Series 139. — Лэнхэм: National Asphalt Pavement Association, 2015. — 60 с. — URL: [https://www.asphalt pavement.org/uploads/documents/EngineeringPubs/IS139\\_High\\_RAP\\_Aspphalt\\_Pavements\\_Japan\\_Practice-lr.pdf](https://www.asphalt pavement.org/uploads/documents/EngineeringPubs/IS139_High_RAP_Aspphalt_Pavements_Japan_Practice-lr.pdf) (дата обращения: 12.11.2022).
13. **Ma, X.** Investigation on the Effects of RAP Proportions on the Pavement Performance of Recycled Asphalt Mixtures / X. Ma, J. Wang, Y. Xu. — DOI <https://doi.org/10.3389/fmats.2021.842809> // Frontiers in Materials. — 2021. — Т 8. С. 842809. — URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmats.2021.842809/full> (дата обращения: 10.09.2022).
14. **Майданова, Н.В.** Вторичное использование гранулята старого асфальтобетона в составе асфальтобетонных смесей / Н.В. Майданова, С.А. Шибалов // Дороги России. — 2018. — № 5. — С. 4–11. — URL: <https://www.npfselena.ru/wp-content/uploads/2019/07/Н.В.-Майданова-Вторичное-использование-гранулята-старого-асфальтобетона-в-составе-асфальтобетонных-смесей-XXI-2018-5.pdf> (дата обращения: 10.10.2022).
15. **Колесник, Д.А.** Возникновение пластичности асфальтобетона в процессе укатки. Что делать, когда асфальт «ползет»? / Д.А. Колесник, О.С. Некрасова // Мир дорог. — 2012. — № 64. — С. 42–45. — URL: <https://zaovad.ru/upload/file/2017/04/05/md-2012-64-s42-45.pdf> (дата обращения: 09.10.2022).

#### Сведения об авторах:

**Ярышкин Игорь Андреевич**<sup>2</sup> — студент магистрант, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», Санкт-Петербург, Россия, e-mail: igor1999.yia@gmail.com  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0350-3928>

Статья получена: 10.12.2022. Принята к публикации: 21.02.2023. Опубликована онлайн: 07.03.2023.

<sup>2</sup> <https://vk.com/id293302108>



## REFERENCES

1. Vasiliev Y., Ivachev A., Bratishev I. Research of road building materials wear rutting resistance in near working conditions. *Naukovedenie*. 2014; (5): 11TVN514. Available at: <https://naukovedenie.ru/PDF/11TVN514.pdf> (accessed 20th August 2022). (In Russ., abstract in Eng.).
2. Kuleshov A.V. [Volumetric Method for Designing Compositions of Superpave Asphalt Concrete Mixtures]. *NovaInfo*. 2018; 1(89): 69–86. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35560629> (accessed 20th August 2022). (In Russ., abstract in Eng.).
3. Bestayev E.O., Larina T.A. Theoretical Prerequisites for The Use of Superior Performing Asphalt Pavements Technology to Combat Track Formation on High-Speed Highways. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura*. 2022; (2): Available at: <https://www.adi-madi.ru/madi/article/view/1130> (accessed 25th August 2022). (In Russ., abstract in Eng.).
4. Yryshkin I.A., Simonovskiy A.M. Problems of Wheel Truck Rutting and Methods of Fight Against It on Highways with Asphalt Concrete Surfacing. In: Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. [Innovations and durability of transport infrastructure facilities (materials, structures, technologies): materials of the IV All-Russian Scientific and Practical Conference, St. Petersburg, November 18–19, 2021]. Saint Petersburg: Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering; 2022. p. 121–125. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49738835> (accessed 15th November 2022). (In Russ., abstract in Eng.).
5. Ronzhi Tsao [Superpave in China]. *Dorogi. Innovatsii v stroitel'stve*. 2017; (61): 102–105. Available at: <http://www.techinform-press.ru/images/stories/pdf/roads61/61.pdf> (accessed 20th August 2022). (In Russ.).
6. Kolesnik D.A., Pakharenko D.V. [Practical experience in implementing the Superpave system]. *Mir doro*. 2018; (109): 30–33. Available at: <https://zaovad.ru/upload/file/2018/12/11/kolesnik-paharenko-md-2018-109-s30-33.pdf> (accessed 21th October 2022). (In Russ.).
7. Nikishin V.E. Experience in Using Resource-Saving Technology Cold Recycling. *Technical regulation in transport construction*. 2020; (1): 15–18. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42801524> (accessed 12th October 2022). (In Russ., abstract in Eng.).
8. Tyulpinov D.O., Denisov V.A., Budanova E.S. Review of Research by Scientists at The Institute for Road Construction at The Technical University of Braunschweig in The Field of Rheological Studies of Binders. In: [Seventy-fifth All-Russian Scientific and Technical Conference of Students, Undergraduates and Postgraduates with International Participation. Part 2]. Yaroslavl: Yaroslavl State Technical University; 2022. p. 545–553. Available at: <https://www.ystu.ru/files/nauka/2022/Часть2%20СборнКонф.pdf> (accessed 12th October 2022). (In Russ., abstract in Eng.).
9. Zaumanis M., Mallick R.B., Frank R. Towards production of 100 % recycled asphalt. In: *E&E Congress 2016. 6th Eurasphalt & Eurobitume Congress. 1–3 June 2016. Prague, Czech Republic*. Prague: Czech Technical University; 2016. p. 3493–3502. Available at: <https://www.h-a-d.hr/pubfile.php?id=966> (accessed 11th November 2022). (In Eng.).
10. West R. Best Practices for RAP And RAS Management. Quality Improvement Series 129. Lanham, Maryland: National Asphalt Pavement Association; 2015. Available at: <https://trid.trb.org/view/1526425> (accessed 11th November 2022). (In Eng.) DOI:
11. Krupnin N.V. [Experience of reuse of road asphalt concrete in the USA]. *Dorogi Rossii*. 2018; (5): 12–19. Available at: <https://www.npfselena.ru/wp-content/uploads/2019/07/Н.Крупнин-Опыт-повторного-применения-дорожного-асфальтобетона-в-США.pdf> (accessed 11th November 2022). (In Russ.).
12. West R., Copeland A. High RAP Asphalt Pavements: Japan Practice–Lessons Learned–NAPA. Information Series 139. Lanham, Maryland: National Asphalt Pavement Association; 2015. Available at: [https://www.asphalt pavement.org/uploads/documents/EngineeringPubs/IS139\\_High\\_RAP\\_Aspphalt\\_Pavements\\_Japan\\_Practice-Ir.pdf](https://www.asphalt pavement.org/uploads/documents/EngineeringPubs/IS139_High_RAP_Aspphalt_Pavements_Japan_Practice-Ir.pdf) (accessed 12th November 2022). (In Eng.).
13. Ma X., Wang J., Xu Y. Investigation on the Effects of RAP Proportions on the Pavement Performance of Recycled Asphalt Mixtures. *Frontiers in Materials*. 2021; 8: 842809. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.3389/fmats.2021.842809>.

14. Maydanova N.V., Shibalov S.A. [Recycling of old asphalt concrete granulate in asphalt mixes]. *Dorogi Rossii*. 2018; (5): 4–11. Available at: <https://www.npfselena.ru/wp-content/uploads/2019/07/H.B.-Майданова-Вторичное-использование-гранулята-старого-асфальтобетона-в-составе-асфальтобетонных-смесей-XXI-2018-5.pdf> (accessed 10th October 2022). (In Russ.).
  15. Kolesnik D.A., Nekrasova O.S. [Occurrence of plasticity of asphalt concrete in the process of rolling. What to do when the asphalt "creeps"?]. *Mir dorog*. 2012; (64): 42–45. Available at: <https://zaovad.ru/upload/file/2017/04/05/md-2012-64-s42-45.pdf> (accessed 9th October 2022). (In Russ.).
- 

**Information about the authors:**

**Igor A. Yryshkin** — Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg, Russia, e-mail: igor1999.yia@gmail.com  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0350-3928>

---

Submitted: 10th December 2022. Revised: 21st February 2023. Published online: 7th March 2023.