

УДК 625.731

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

*Волгоградский государственный технический университет*

## **ДОРОЖНЫЕ ОДЕЖДЫ РЕГИОНАЛЬНЫХ ДОРОГ С ОСНОВАНИЕМ ИЗ АСФАЛЬТО-ЩЕБЕНОЧНО-ГРУНТОВЫХ СМЕСЕЙ**

Повышение несущей способности тонкослойных дорожных одежд региональных дорог эффективно путем их полного ресайклирования. Фрезерование конструкций происходит с захватом грунтов верхней части земляного полотна, а получаемая смесь классифицируется как грунтобетонная смесь с включением щебеночного материала (асфальто-щебеночно-грунтовая смесь), которую рекомендуется укреплять портландцементом марки не ниже М500 в количестве 5,5...8% с полимерными добавками. Получаемое монолитное основание рекомендуется устраивать на дорогах с облегченным или переходным типами покрытия. В статье авторами обоснованы требования к физико-механическим характеристикам получаемой смеси и предложена технология по производству дорожных работ.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** ремонт, дорожная одежда, ресайклер, грунтобетонная смесь, малопрочный щебень, основание.

Строительство опорной сети региональных дорог Волгоградской области в 1960—1990-е гг. выполнялось с широким использованием в основании дорожных одежд местных малопрочных каменных материалов. В современных условиях роста транспортных нагрузок и объемов перевозок возникла острая необходимость повышения несущей способности изношенных дорожных конструкций. Практика показывает, что капитальный ремонт тонкослойных дорожных одежд путем укладки новых слоев асфальтобетонного покрытия не дает должного результата. Общая толщина асфальтобетонного покрытия, после многократных ее ремонтов, достигла 16...23 см (таблица), однако проезжая часть дорог продолжает разрушаться через 4...6 мес эксплуатации после укладки нового слоя.

*Состояние дорожных одежд региональных дорог*

| Титул дороги   | Толщина слоя, см           |                             | Загрязнение щебня, %    |                            |
|--|----------------------------|-----------------------------|-------------------------|----------------------------|
|  | Асфальто-бетонное покрытие | Основание из местного щебня | Каменная мелочь < 20 мм | Глинисто-пылеватые частицы |
| Волгоград — Октябрьский — Котельниково — Зимовники — Сальск, км 69+050 | 20                         | 29                          | 20                      | 12                         |
| Волгоград — Краснослободск — Средняя Ахтуба                            | 23,5                       | 20                          | 31                      | 15                         |
| Волгоград (от Волжского) — Астрахань, км 58+000 — км 60+000            | 29                         | 0                           | —                       | —                          |
| Иловля — Ольховка — Камышин  | 18                         | 22                          | 18                      | 10                         |
| Фролово — Ольховка — Липовка   | 16                         | 24                          | 16                      | 11                         |

Обследования дорожных одежд показали, что их основание представлено местным пористым малопрочным щебнем толщиной 0...29 см (см. табл.). Щебень Фроловского месторождения имеет каменную мелочь < 20 мм до 21 %, пылеватых частиц до 15 %, не соответствуют нормативным требованиям (рис. 1, 2). Нормативные требования к прочности дорожной одежды не обеспечены. Состояние проезжей части в местах отбора проб, несмотря на значительную толщину покрытия, не соответствует нормативному. Это свидетельствует о том, что укладка новых слоев асфальтобетона при изношенном основании неэффективна.



Рис. 1. Состояние щебня в дорожном основании дороги Волгоград — Октябрьский — Котельниково — Зимовники — Сальск, км 69+050



Рис. 2. Состояние щебня в дорожном основании дороги Волгоград — Краснослободск — Средняя Ахтуба

Результаты исследований авторов и данные работ<sup>1</sup> [1—12] позволяют сделать вывод, что более эффективным и менее затратным является восстановление прочности конструкций путем их холодного ресайклирования. Разработка новых конструкций и технологии ресайклирования требует анализа особенностей эксплуатации изношенных дорожных одежд, особенно несущего слоя основания из местного щебня.

Недостаточная толщина дорожных одежд региональных дорог IV—III категорий объясняется тем, что более 9 % дорог области построено под осевую транспортную нагрузку 6,0 т, что не отвечает современным нормативным требованиям (рис. 3).

Как следствие, общая толщина старых конструкций на 11...33 % меньше современных, запроектированных по ОДН 218.046-01 и ПНСТ 265—2018 (рис. 4).

Высокие осевые нагрузки и перегруз до 40 % современных грузовых автомобилей, повышенное на 30...50 % давление в шинах привели к росту удельной нагрузки на слой основания в 1,5...2,0 раза, которая достигает нор-

<sup>1</sup> Методические рекомендации по восстановлению асфальтобетонных покрытий и оснований автомобильных дорог методом холодной регенерации. М. : Росавтодор, 2021. 25 с.

ГОСТ 23558—94. Смеси щебеночно-гравийно-песчаные и грунты, обработанные неорганическими вяжущими материалами, для дорожного и аэродромного строительства. Технические условия. URL: [https://www.testprom.ru/img\\_user/gosts/91/100/gost\\_23558-94.pdf](https://www.testprom.ru/img_user/gosts/91/100/gost_23558-94.pdf).

мативной нагрузки на проезжую часть 0,6 МПа [13—16]. Вследствие этого напряжения от осевых нагрузок в щебеночном основании превышают допустимые, происходит дроблении каменного материала, которое резко снижается при измельчении его до размера зерен 17...18 мм (рис. 5) [13].

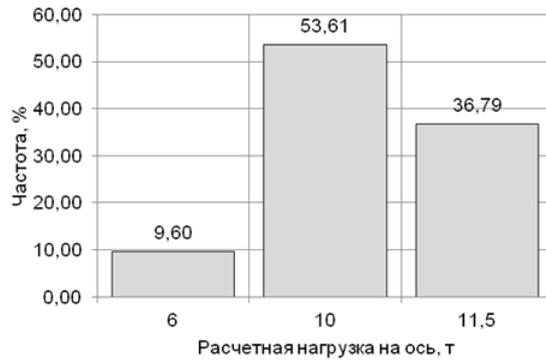


Рис. 3. Гистограмма расчетной (проектной) осевой нагрузки на дорожное покрытие региональных дорог Волгоградской области

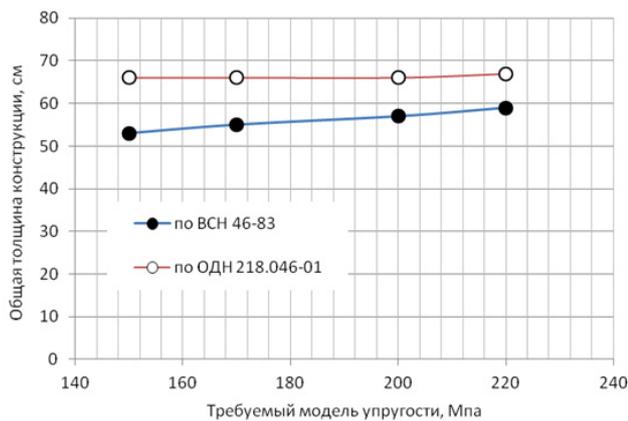


Рис. 4. Толщина дорожных одежд для региональных дорог Волгоградской области IV технической категории

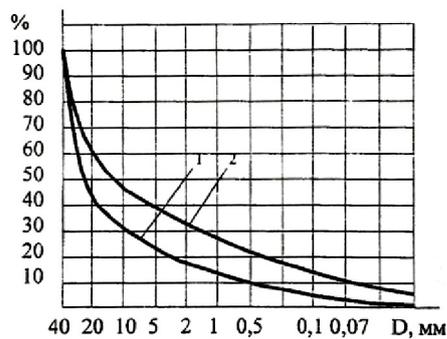


Рис. 5. Изменение гранулометрического состава каменного материала:  
 1 — зерновой состав в начале эксплуатации дороги;  
 2 — после 9 лет эксплуатации дороги [13]

В дальнейшем частицы продолжают измельчаться в результате локальных микроподвижек, которые постепенно возрастают и начинают преобладать над дроблением. Снижение данного процесса наблюдается при формировании высокой плотности слоя основания. В результате образования мелких фракций, в т. ч. суглинистых и глинистых частиц, снижается модуль упругости основания, создаются условия для аккумуляции и задерживания в щебне влаги.

На деградацию каменного материала, помимо воздействия транспортных нагрузок, негативное влияние оказывают увлажнение материала и его промерзание-оттаивание. В холодный период года влага от дождей и таяния снега (льда) через трещины покрытия и обочины проникает в основание. Влага не может быстро испариться, т. к. основание сверху закрыто асфальтобетонным покрытием. В весенний расчетный период основание дополнительно увлажняется от верховодки под проезжей частью, образовавшейся в ходе оттаивания конструкции. Переувлажненный капиллярной и парообразной влагой пористый щебень теряет свою прочность. В период отрицательных температур в щебенках возникают дополнительные напряжения от давления льда, находящегося в порах каждого зерна, за счет градиента отрицательной температуры внешней среды и положительной температуры материала основания. Щебень имеет более высокую теплопроводность, чем вода, за счет этого он быстрее охлаждается. На поверхности щебенки вода кристаллизуется в первую очередь, возникает разность температур внешней поверхности и внутренней структуры камня, где вода в порах и капиллярах еще не успела кристаллизоваться. Влага перемещается из теплой зоны камня к его холодной поверхности. В результате достаточно большой объем воды будет концентрироваться в поверхностной части зерна каменного материала. При значительной концентрации кристаллизованной воды на поверхности за счет давления льда происходит отрыв граней камня от основной породы [13]. Процесс разрушения усиливают напряжения, возникающие от подвижной транспортной нагрузки. При этом процесс интенсивного разрушения наблюдается даже при незначительном насыщении водой зерен камня [13, 16] и большом количестве циклов замораживания — оттаивания. Все эти процессы ускоряют процесс образования мелких частиц, которые сами обладают пониженной прочностью и повышенным влагонакоплением, снижающим несущую способность слоя основания и дорожной одежды в целом.

При холодном ресайклировании старых дорог с тонкими покрытиями на щебеночном основании достаточно часто вместе с дорожной одеждой фрезеруются подстилающий песчаный слой и верх земляного полотна. В результате переработки старой конструкции до 50 см получается смесь асфальтобетонного гранулянта (АБГ), щебня и грунта, который оказывает существенное влияние на характеристики получаемого нового конструктивного слоя. При этом количество грунта может превышать количество АБГ со щебнем. Это объясняется тем, что при строительстве автодорог с невысокой интенсивностью движения устраиваются тонкослойные покрытия на щебеночном основании из щебня М300—М400 малопрочных пород. Под воздействием транспортной нагрузки и климата наблюдается не только разрушение щебня, но и перемешивание его с песком и грунтом насыпи. В результате после фрезерования визуально щебня практически не видно, а наблюдается только небольшое содержание АБГ (рис. 6).



Рис. 6. Асфальто-щебеночно-грунтовая смесь после фрезерования дорожной одежды [1]

При обосновании прочностных характеристик вновь получаемого конструктивного слоя следует исследовать взаимодействие вяжущего с грунтом с включениями АБГ и малопрочного щебня [1]. Основное влияние на прочностные характеристики оказывает взаимодействие вяжущего с грунтом. В соответствии с СП 78.13330.2012<sup>2</sup> получаемая смесь классифицируется как грунтобетонная смесь с включением щебеночного материала (асфальто-щебеночно-грунтовая смесь — АЩГС).

Для получения прочной АЩГС следует использовать комплексное вяжущее, состоящее из минеральной составляющей и поверхностно-активной добавки [1]. За счет органического вяжущего структура получаемого материала обладает высокой водостойкостью и морозостойкостью, за счет минерального вяжущего (цемент + полимер) имеет высокие прочностные и деформативные свойства. В АЩГС протекают физико-химические процессы, формирующие новую структуру смешанного типа, обусловленную гидратацией и твердением вяжущих и взаимодействием старых материалов конструкции, минерального вяжущего и полимерной добавки. Уплотнение способствует тесному контакту новообразований, возникающих при гидратации и более эффективному действию полимерной добавки, образованию прочной водо- и морозостойкой АЩГС<sup>3</sup> [1].

Важнейшим нормативным показателем является морозостойкость. Данный показатель особенно актуален для укрепленных АЩГС при их применении в условиях Волгоградской области с частыми переходами температуры через 0 °С. Согласно СНиП 2.01.01—82 средняя месячная температура воздуха наиболее холодного периода года области изменяется от –10 до –15 °С. В соответствии с [1] требуемая марка по морозостойкости для основания дорожной одежды облегченного типа — не менее F15. Этому показателю соответствует суглинок, укрепленный портландцементом М500 с полимерной добавкой (или без нее) в количестве 5,5...8 %<sup>4</sup>.

<sup>2</sup> СП 78.13330.2012. Актуализированная редакция СНиП 3.06.03—85. Автомобильные дороги. М. : Министерство регионального развития Российской Федерации, 2013. 89 с.

<sup>3</sup> Методические рекомендации по восстановлению асфальтобетонных покрытий и оснований автомобильных дорог методом холодной регенерации. М. : Росавтодор, 2021. 25 с.

<sup>4</sup> ГОСТ 23558—94. Смеси щебеночно-гравийно-песчаные и грунты, обработанные неорганическими вяжущими материалами, для дорожного и аэродромного строительства. Технические условия. URL: [https://www.testprom.ru/img\\_user/gosts/91/100/gost\\_23558-94.pdf](https://www.testprom.ru/img_user/gosts/91/100/gost_23558-94.pdf).

Согласно ГОСТ 23558—94 для укрепленных материалов марка по прочности на сжатие должна быть не менее М40<sup>5</sup> [15]. Исследования показали, что укрепленные АЩГС имеют М10, поэтому могут быть использованы на дорогах с облегченным типом покрытия только в дополнительных слоях основания. При переходном типе покрытия АЩГС может быть использована в качестве несущего слоя основания (рис. 7) [1]. В предлагаемом варианте основание состоит из материалов, ранее составляющих конструкцию ремонтного участка, а именно: асфальтобетонного гранулята, щебня и грунта. Покрытие — замыкающий слой — выполнено из горячего асфальтобетона.

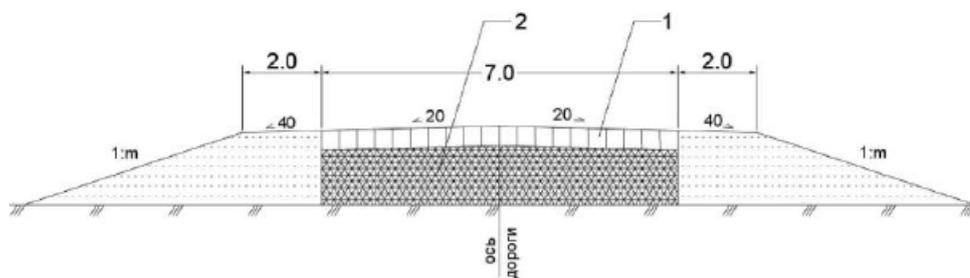


Рис. 7. Конструкция дорожной одежды с основанием из укрепленной АЩГС:  
1 — асфальтобетонное покрытие — 0,05 м; 2 — основание из АЩГС — 0,30 м [1]

Работы следует проводить при температуре не ниже 5 °С. Технология строительства основания включает следующие операции. Перед фрезерованием обязательна очистка старого покрытия поливомоечными машинами. Фрезерование, измельчение, перемешивание слоев существующей дорожной одежды производится за один проход с помощью ведущей машины — ресайклера Wirtgen WR 240. При фрезеровании в рабочую камеру ресайклера впрыскивается вода с полимерной добавкой (или без нее). Далее на покрытие равномерно в сухом виде распределяется портландцемент марки не ниже М400. Расход минерального вяжущего (5,5...8 %) подбирается в строительной лаборатории. Количество полимерной добавки зависит от естественной влажности грунта. Крупность измельчаемого материала регулируется скоростью ресайклера, вращением фрезерно-смешивающего барабана, глубиной фрезерования, положением задней щели барабана. Если после прохода ресайклера наблюдаются комья более 50 мм, осуществляется повторный проход машины без подачи воды. После ресайклинга слой АЩГС предварительно уплотняют средним или тяжелым виброкатком, профилируют автогрейдером, окончательно уплотняют. Коэффициент уплотнения укрепленного материала должен быть не менее 0,98. Все операции должны быть закончены до конца схватывания цемента. Известно, что сразу после перемешивания и увлажнения смеси в течение короткого времени (1...2 ч) в ней преобладает коагуляционная структура, самовосстанавливающаяся после механического разрушения. В этот период смесь пластична, удобоукладываема, максимально уплотняемая. Увеличение времени между увлажнением и уплотнением АЩГС приводит к снижению пластичности, плохой уплотняемости и в конечном итоге к пониженной прочности материала. Влияние активной добав-

<sup>5</sup> Там же.

ки увеличивает допустимый технологический разрыв. Обработка данных [9] показала, что уплотнение смеси, укрепленной портландцементом, через 2 ч приводит к снижению прочности на 20 %, использование полимерной добавки в количестве 0,3 % обеспечивает аналогичную потерю прочности через 4 ч (рис. 8).

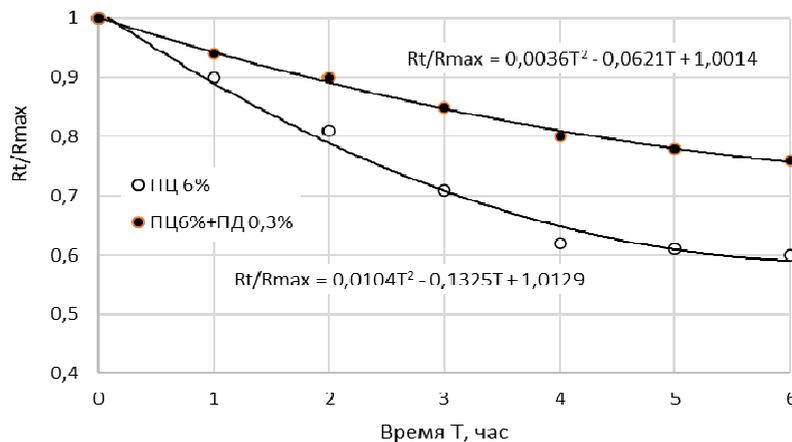


Рис. 8. Влияние длительности технологического процесса на прочность АЩГС

Укладка верхнего слоя основания или замыкающего асфальтобетонного слоя производится сразу или в течение суток после работы ресайклинга. Верхний слой необходим, т. к. сопротивление износу укрепленного АЩГС при контакте с колесами автотранспорта невысокое. Длительность технологических процессов по перемешиванию, укладке и уплотнению смеси с портландцементом ограничивается временем его схватывания. Применение полимерной добавки позволяет продлить процесс цементации АЩГС в 2 раза, что способствует более тщательному уплотнению и повышению качества работ.

Выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Основными причинами чрезмерного износа щебеночного основания региональных дорог являются: недостаточная толщина дорожной одежды, высокие нормативные и сверхнормативные осевые нагрузки от современных грузовых автомобилей, широкое применение неукрепленных местных малопрочных пористых каменных материалов М300—М400, склонных к измельчению и образованию каменной мелочи до 16...31 % и глинисто-пылеватых частиц до 10...15 % даже при незначительном увлажнении щебня;

2. Эффективным и малозатратным является восстановление прочности конструкций дорожных одежд с основанием из местного малопрочного щебня способом их холодного ресайклирования. Фрезерование тонкослойной конструкции на глубину до 0,5 м производится с захватом всех конструктивных слоев и грунта. Полученную АЩГС рекомендуется укреплять портландцементом М500 в количестве 5,5...8 % с полимерными добавками или без них. Укрепленная смесь должна соответствовать ГОСТ 23558—94. На дорогах с облегченным типом покрытия укрепленную АЩГС можно использовать в дополнительном слое основания, на дорогах с переходным типом покрытия — в несущем слое основания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Борисов А. Е.* Технология ремонта дорожных одежд облегченного типа с использованием грунтобетонной смеси: автореф. дис... канд. техн. наук: 2.1.8. Воронеж, 2022. 14 с.
2. Применение асфальтогранулята при ремонте дорог Волгограда / С. В. Алексиков, А. И. Лескин, Д. И. Гофман, И. И. Глазунов, А. О. Евдокименко // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2024. Вып. 1(94). С. 43—52.
3. *BorISOV A. E., KanIScheV A. N., MatvIenko F. V.* Repair Technology Development of Non-Rigid and Intermediate Types of Road Structure with Application of New Material from Asphalt-Road Stone-Soil Mix as Structural Layer // International Journal of Applied Engineering Research. 2016. Vol. 11. Iss. 14. Pp. 8226—8228.
4. *XIaotong Ch., Jiexian Ch., Jun Zh., Rongsheng Ch.* Construction of road surfaces on the bases of reinforced soils // J. Southeast Univ. Natur. Sci. Ed. 2001. No. 3. Pp. 7—10.
5. Cold recycling. Wirtgen cold recycling technology. GmbH : Wingham, 2012. 367 p.
6. *Chu J., Varaksin S., Klotz U., Mengé P.* Construction Processes. State of the Art Report // Proceedings of the 17th International Conference on Soil Mechanics & Geotechnical Engineering. 2009. Pp. 14—28.
7. *Lau C. K., Cheng Y. M.* Slope Stability Analysis and Stabilization: New Methods and Insight. Hardcover, 2008. 241 p.
8. *Karol R. H.* Chemical Grounding and Soil Stabilization, Revised and Expanded. New Jersey, USA. 2003. 584 p.
9. *Чудинов С. А.* Исследование влияния технологических факторов на прочность цементогрунтов // Вестник МарГТ. 2010. № 1. С. 46—52.
10. *Лескин А. И., Гофман Д. И., Алексиков С. В., Аль-Карагули М. М.* Органическая композиция для восстановления свойств вяжущего в асфальтогрануляте // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 1(74). С. 33—39.
11. *Abubakir J., Elmer C., Elmer A., Anteneh G.* Utilization of crushed stone dust as a stabilizer for sub grade soil: a case study in jimma town // Faculty Engineering Hunedoara. 2020. Vol. 17. Pp. 55—64.
12. *Anteneh G., Basha D.* Experimental performance studies on the improved expansive sub-grade soil formation by using mechanical stabilization with natural gravel around Jimma quarry sites // American Journal of Civil Engineering. 2018. Vol. 6. Pp. 154—161.
13. *Мевлидинов З. А.* Обоснование основных показателей, учитывающих влияние остаточных деформаций, при расчете дорожных одежд нежесткого типа: дис... канд. техн. наук: 05.23.11. М., 1997. 192 с.
14. *Яковлев Ю. М.* Исследование метода испытаний грунтов и нежестких дорожных одежд установкой динамического нагружения: дис... канд. техн. наук: 05.23.11. М., 1962. 211 с.
15. *Яковлев Ю. М.* Оценка и обеспечение прочности дорожных одежд нежесткого типа в процессе эксплуатации: дис... д-ра техн. наук: 05.23.11. М., 1985. 435 с.
16. *Кудрявцев А. Н., Лугов С. В., Носов В. П.* О прочностных характеристиках неукрепленных каменных материалов слоев оснований при проектировании дорожных одежд // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2017. № 4(51). С. 79—84.

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

Поступила в редакцию  
в сентябре 2024 г.

Ссылка для цитирования:

Дорожные одежды региональных дорог с основанием из асфальто-щебеночно-грунтовых смесей / С. В. Алексиков, А. И. Лескин, Д. И. Гофман, Л. М. Лескина, И. И. Глазунов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2024. Вып. 4(97). С. 95—103. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_4\_95.

*Об авторах:*

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

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

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

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

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

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

*Volgograd State Technical University*

## ROAD CLOTHES OF REGIONAL ROADS BASED ON ASPHALT-CRUSHED STONE-SOIL MIXTURES

Increasing the load-bearing capacity of thin-layer road coverings of regional roads is effective by completely recycling them. Milling of structures takes place with the capture of the soils of the upper part of the roadbed, and the resulting mixture is classified as a soil-concrete mixture, with the inclusion of crushed stone material (asphalt-crushed stone-soil mixture), which is recommended to be reinforced with Portland cement grade not lower than M500 in an amount of 5.5... 8% with polymer additives. It is recommended to arrange the resulting monolithic base on roads with lightweight or transitional types of pavement. In this article, the authors have described the requirements for the physic-mechanical characteristics of the resulting mixture and proposed a technology for the production of road works.

**К е y w o r d s:** repair, road clothes, recycler, ground concrete mix, low-strength crushed stone, base.

*For citation:*

Aleksikov S. V., Leskin A. I., Gofman D. I., Leskina L. M., Glazunov I. I. [Road clothes of regional roads based on asphalt-crushed stone-soil mixtures]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2024, iss. 4, pp. 95—103. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_4\_95.

*About authors:*

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

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

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

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

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