

УДК 625.73

С. В. Алексиков, А. И. Лескин, Л. М. Лескина, А. О. Евдокименко, С. Н. Сосновский

Волгоградский государственный технический университет

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РЕМОНТА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ВОЛГО-АХТУБИНСКОЙ ПОЙМЫ

Конструктивные особенности ремонта региональных автомобильных дорог, расположенных на территории Волго-Ахтубинской поймы обусловлены существенным износом и недостаточной толщиной дорожных одежд, высоким уровнем грунтовых вод и подтоплением земляного полотна в период весенних паводков. При ремонте дорожных одежд следует учитывать износ их основания, пониженную прочность рабочего слоя насыпей из-за повышенной влажности грунтов. Рационально восстановление прочности конструкций путем их ресайклирования. В результате интенсивного сброса воды Волжской ГЭС наблюдаются размывы откосов насыпей, обусловленные продольным течением водного потока вдоль откоса и подошвы, а также силовым воздействием волн и грунтовых вод при выходе водоносных горизонтов на откос. Эксплуатация дорог в условиях подтопления паводковыми водами требует укрепления откосов насыпей. Снижение влажности рабочего слоя насыпи эффективно уширением и укреплением откосов на участках с высоким уровнем грунтовых вод, а также устройством капиллярпрерывающих прослоек или увеличением высоты насыпи.

Ключевые слова: ремонт, дорожная одежда, насыпь, ресайклер, грунтобетонная смесь, укрепление откосов, уширение.

Введение

Волго-Ахтубинская пойма в настоящее время является территорией, активно вовлеченной в процесс промышленного освоения. Данное обстоятельство предполагает развитую местную дорожную сеть, которая преимущественно представлена дорогами IV технической категории. Диагностика более 155 км автомобильных дорог, проведенная сотрудниками ВолГТУ в 2019—2023 гг. выявила, что проезжая часть чрезмерно изношена, имеет сетку трещин, колеи, просадки, выбоины, которые свидетельствуют о низкой прочности дорожных конструкций [1]. Статистическая обработка результатов диагностики показала, что ровность проезжей части распределяется по нормальному закону (рис. 1).

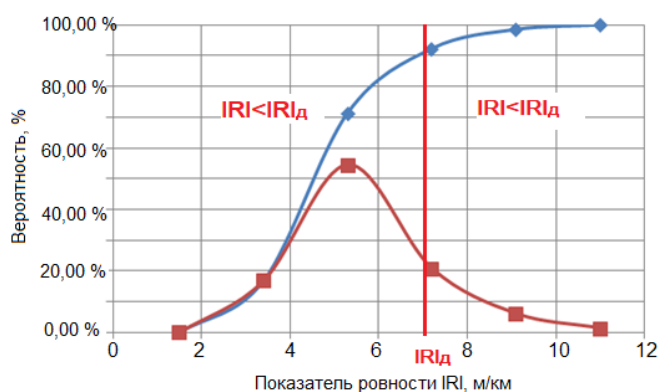


Рис. 1. Распределение ровности покрытия IRI (м/км) автодороги к с. Маляевка

Между индексом продольной ровности (IRI) и коэффициентом прочности ($K_{пр}$) дорожного покрытия имеется линейная зависимость (рис. 2). В нормативном состоянии по ровности и дефектам покрытия находится 92,853 км или 48 % дорог. Коэффициент прочности дорожной одежды изменяется в интервале 0,62...0,85. Необходим ремонт старого покрытия общей протяженностью 62,74 км. Кроме того, на отдельных участках протяженностью 3,843 км асфальтобетонное покрытие полностью отсутствует.

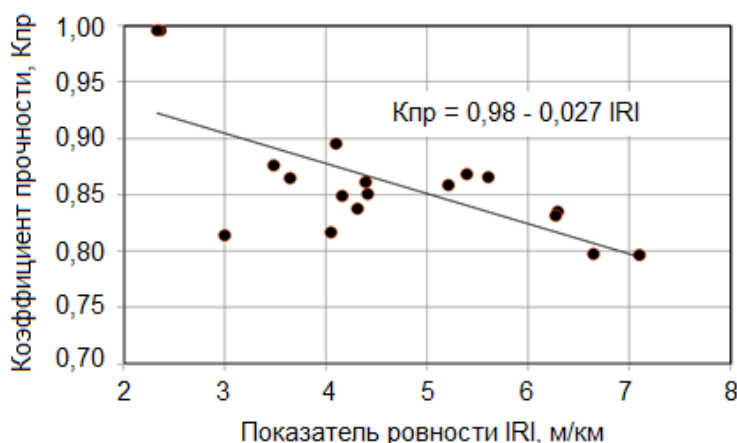


Рис. 2. Зависимость коэффициента прочности проезжей части от ровности

Основная часть

Территория поймы ниже уровня мирового океана на 5...9 м. Коэффициент увлажнения территории $Z = 0,50$. Местность преимущественно 2—3-го типов по характеру увлажнения с близким залеганием уровня грунтовых вод (УГВ) — 1,0...9,0 м. Глубина промерзания грунтов 90...140 см. Грунты преимущественно глинистые и песчаные аллювиальные с примесью ила и органики [2, 3].

Анализ грунтово-геологических и гидрологических особенностей поймы позволил сделать выводы, что при разработке проектных решений по ремонту дорог важно учитывать специфические условия эксплуатации транспортных сооружений (рис. 3), обусловленные:

1. Подтоплением насыпей и размывом их откосов в период интенсивного сброса воды Волжской ГЭС из Волгоградского водохранилища (рис. 4);
2. Высоким УГВ, длительно стоящими поверхностными водами, способствующими дополнительному увлажнению грунтов рабочего слоя насыпей (рис. 5);
3. Неоднородностью физико-механических свойств аллювиальных отложений почво-грунтов поймы;
4. Использованием в теле насыпи суглинков легких и тяжелых, глин, склонных к значительному снижению несущей способности при их увлажнении.

Глинистые почво-грунты поймы представлены суглинками (60...85 %), глинами (14...39 %), супесями (1...3 %). Физико-механические свойства грунтов пойменного аллювия приведены в таблице.



Рис. 3. Дороги Волго-Ахтубинской поймы в период подтопления

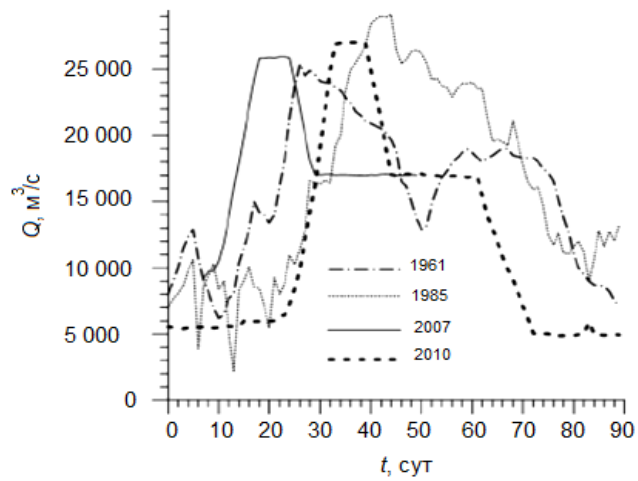


Рис. 4. Гидрографы стока в пойме при сбросе воды с 1961 по 2010 гг.

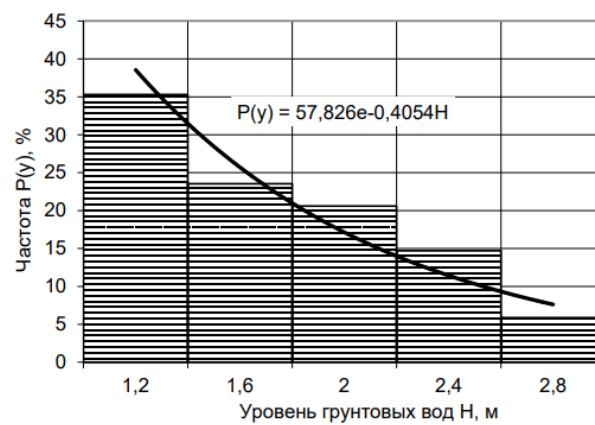


Рис. 5. Гистограмма УГВ на увлажненных участках поймы (2—3-й типы)

Свойства глинистых грунтов пойменного аллювия [2]

Тип грунта	W , %	Q , г/см ³	Q_d , г/см ³	e	W_T , %	W_p , %	I_p , %
Глина	28	1,78	1,37	0,99	46	24	22
Суглинок	23	1,82	1,47	0,851	32	19	13
Супесь	21	1,81	1,51	0,81	24	18	6

Примечание: Q_d — плотность скелета грунта, e — коэффициент пористости, W_T — влажность на границе текучести, W_p — влажность на границе пластичности, I_p — число пластичности.

Земляное полотно преимущественно из суглинков легких и тяжелых имеет повышенную влажность (0,65...0,7 W_T) и соответственно пониженную прочность рабочего слоя насыпей. Согласно исследованиям Н. П. Толстикова, В. С. Боровика и других авторов, модуль упругости грунтового основания в расчетный весенний период снижается до 30...35 МПа (рис. 6), угол внутреннего трения — до 16...18° (рис. 7), сцепление — до 0,16...0,20 МПа (рис. 8) [4].

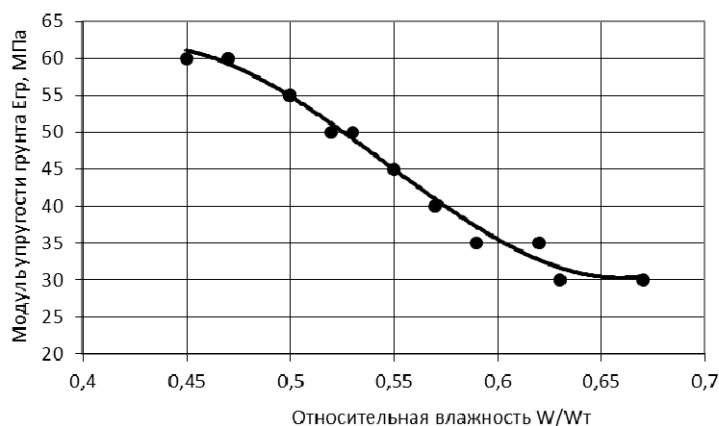


Рис. 6. Зависимость модуля упругости суглинка от относительной влажности

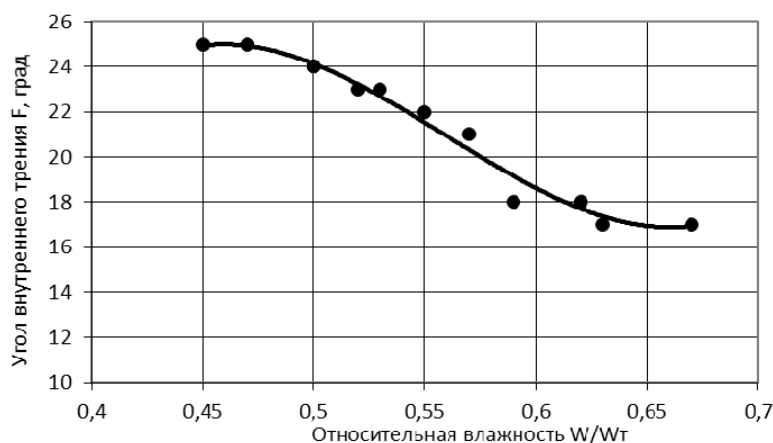


Рис. 7. Зависимость угла внутреннего трения в суглинке от относительной влажности

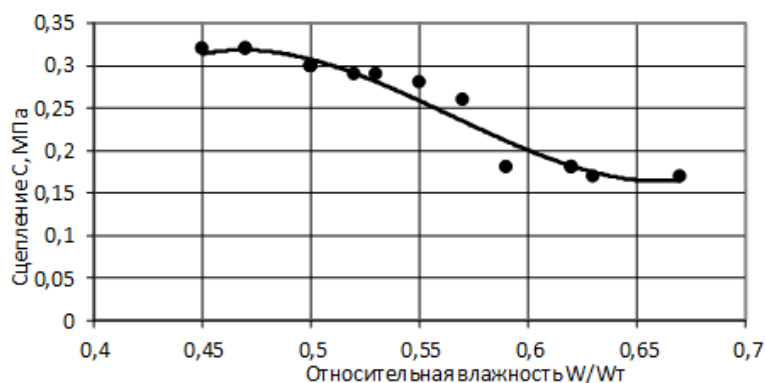


Рис. 8. Зависимость сцепления в суглинке от его относительной влажности

На участках местности с высоким УГВ на прочность грунтов значительно оказывает влияние высота насыпи. Обработка данных Е. И. Богатыревой, Е. К. Селимбаева [5], С. В. Ефименко [6] позволила установить закономерность увеличения прочности грунтов насыпи от ее высоты (рис. 9).

Согласно исследованиям, увеличение высоты существующей насыпи от 0,6...0,8 м до 1,0...1,2 м снижает влияние грунтовых и поверхностных вод на рабочий слой полотна на 25...30 %, повышает модуль упругости суглинков до 90...95 МПа. Поэтому при выполнении ремонтных работ следует обеспечить требуемую (нормативную) высоту насыпи для 2—3-го типов местности или предусмотреть мероприятия по регулированию водно-теплового режима земляного полотна.

Рекомендации

Обследование конструкции дорожной одежды автомобильной дороги Волгоград — Краснослободск — Средняя Ахтуба показало, что ее основание представлено местным пористым щебнем низкой марки Фроловского месторождения толщиной 20 см. После длительной эксплуатации материал содержит 31 % каменной мелочи < 20 мм, пылеватых частиц до 15 %, что не соответствует требованиям нормативных документов (рис. 10).

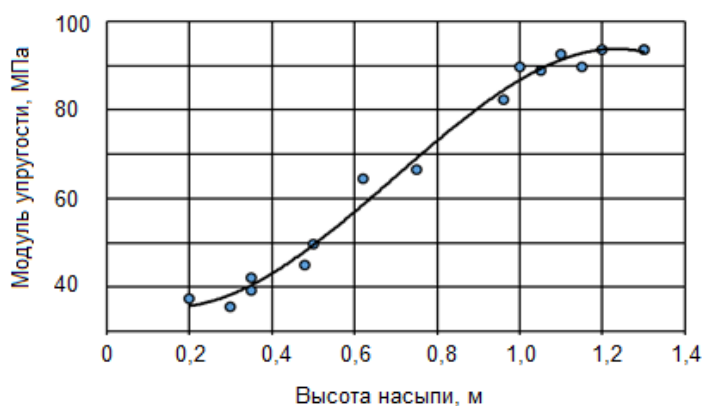


Рис. 9. Зависимость модуля упругости рабочего слоя насыпи от ее высоты над УГВ или поверхностных вод



Рис. 10. Состояние щебня в основании дороги Волгоград — Краснослободск — Средняя Ахтуба

Состояние проезжей части в месте отбора проб, несмотря на толщину асфальтобетонного покрытия 23,5 см, имеет разрушения. Следовательно, укладка асфальтобетона на изношенное основание неэффективна. Рациональным является ремонт дорог холодным ресайклированием¹ [7—14].

При холодном ресайклировании старых дорог вместе со слоями дорожной одежды фрезеруется верх земного полотна [8]. В результате получается смесь асфальтобенного гранулята (АГ), щебня и грунта, которая имеет пониженную прочность. При этом количество грунта может превышать количество АГ со щебнем. Это объясняется тем, что при строительстве автодорог с невысокой интенсивностью движения устраиваются тонкослойные асфальтобетонные покрытия на основании из щебня М300...400 малопрочных пород, общей толщиной 30...25 см. В процессе эксплуатации под воздействием транспортных нагрузок и климата происходит не только разрушение щебня в основании, но и перемешивание его с песком и грунтом насыпи. Согласно СП 78.13330.2012² смесь классифицируется как грунтобетонная смесь, с включением щебня (АЩГС).

Для формирования прочной АЩГС рекомендуется применять вяжущее, включающее цемент М500 (5,5...8 %) и полимерные добавки (0,3 %)³. Иссле-

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

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

³ ГОСТ Р 70455—2022. Дороги автомобильные общего пользования. Смеси щебеночно-гравийно-песчаные и грунты, обработанные неорганическими вяжущими. Общие технические условия. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200194393?ysclid=m327mn8b4k423929411>;

ОДМ 218.2.078—2016. Типовые конструкции укрепления откосов земляного полотна автомобильных дорог общего пользования. М. : Росавтодор, 2016. 216 с.

дования показали, что укрепленные смеси имеют М400, поэтому могут быть использованы в основании на дорогах с низкой интенсивностью движения [8, 15]. Укладку замыкающего слоя асфальтобетона следует производить в течение суток после работы ресайклинга.

Так как сопротивление износу укрепленного АЩГС невысокое, верхний слой необходим. Введение полимерной добавки продлевает в 2 раза процесс цементации АЩГС, что позволяет более качественно уплотнить материал [16, 17].

Эксплуатация дорог в условиях подтопления паводковыми водами требует укрепления откосов насыпей. В период сброса воды Волжской ГЭС наблюдаются эрозионные деформации размывов откосов и их механическая суффозия, обусловленные продольным течением водного потока вдоль откоса и подошвы и силовым воздействием волн и грунтовых вод при выходе водоносных горизонтов на откос.

Укрепление откосов на проблемных участках следует выполнять согласно ОДМ 218.2.078—2016⁴. При длительности подтопления до 20 сут, скорости водного потока до 2,3 м/с и высоте волны 0,3 м эффективно применение геосинтетического полотна «ГЕОМАТ ГМТ-Ком». В более жестких условиях подтопления насыпей рационально применение монолитного или сборного бетона, железобетонных решетчатых конструкции с заполнением решеток тощим цементобетоном, асфальтобетоном, щебнем, камнем, ПГС. Эффективно применение габионных конструкций и геосинтетических решеток с заполнением ячеек камнем, щебнем, бетоном [18].

В случае отсутствия дорогостоящих материалов на участках с низкой скоростью продольного течения возможно устройство грунтовых призм из глины или суглинков. Конструктивные решения укрепления с применением связных грунтов представлены на рис. 8.

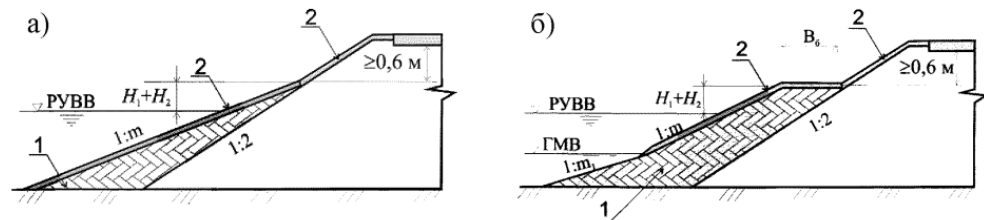


Рис. 8. Конструкции укрепления откосов связными грунтами:

а — присыпной призмой без бермы; *б* — присыпной призмой с бермой;

H_1 — запас высоты укрепления; H_2 — высота укрепления в зоне волнового воздействия;

m — заложение откоса, динамически устойчивого к волновому воздействию ($m = 3 \dots 15$);

m_1 — заложение откоса при свободной отсыпке грунта в воду ($m_1 = 1:2 \dots 1:3$);

B_5 — ширина бермы по ОДМ 218.2.078—2016; *1* — призма из глинистого грунта;

2 — укрепление растительным грунтом с посевом трав

При наличии каменного материала возможно устройство защиты откосов каменной наброской (рис. 9).

⁴ Там же.

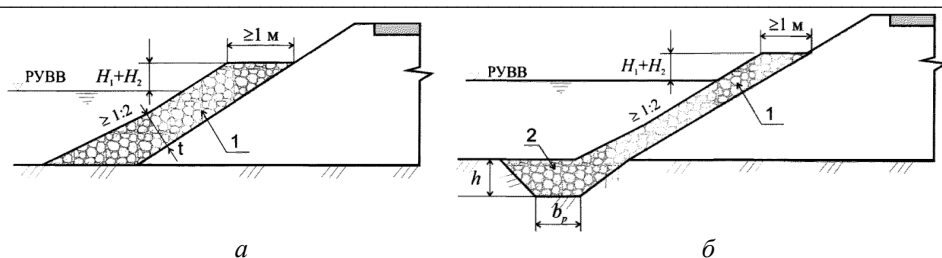


Рис. 9. Укрепления откосов каменной наброской: *а* — при отсутствии размывов основания; *б* — при наличии размывов основания: b_p — длина укрепления в зоне размыва; h — высота упорной призмы; 1 — каменная наброска; 2 — укрепление в зоне размыва, выполненной в виде упорной призмы; t — толщина каменной наброски, не менее 2,5...3 диаметра камня

Выводы

1. Дорожная сеть Волго-Ахтубинской поймы характеризуется чрезмерным износом проезжей части. В нормативном состоянии по ровности и дефектам покрытия находится 48 % дорог. Коэффициент прочности дорожной одежды изменяется в интервале 0,62...0,85. Необходим ремонт изношенного покрытия общей протяженностью 62,74 км.

2. При разработке проектных решений по ремонту дорог важно учитывать специфичные условия эксплуатации транспортных сооружений, обусловленные подтоплением насыпей и размывом их откосов в период интенсивного сброса воды Волжской ГЭС, высоким УГВ, длительно стоящими поверхностными водами, способствующими дополнительному увлажнению грунтов рабочего слоя насыпей, неоднородностью физико-механических свойств аллювиальных отложений почво-грунтов поймы, использованием в теле насыпи суглинков легких и тяжелых, глин, склонных к значительному снижению несущей способности при их увлажнении.

3. Восстановление прочности проезжей части эффективно холодным рециклированием дорожной одежды с применением цемента М500 (5,5...8 %) и полимерных добавок (0,3 %). На участках с периодическим подтоплением в период паводков и высоким УГВ важно обеспечить нормативную высоту насыпи. В период сброса воды Волжской ГЭС наблюдаются эрозионные деформации размывов откосов и их механическая суффозия, обусловленные продольным течением водного потока вдоль откоса и подошвы и силовым воздействием волн и грунтовых вод при выходе водоносных горизонтов на откос. Укрепление откосов на проблемных участках следует выполнять согласно ОДМ 218.2.078—2016.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алексиков С. В., Альшианова М. И., Лескин А. И., Гофман Д. И. Обеспечение ровности и шероховатости покрытий региональных дорог Волгоградской области // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 1(82). С. 118—131.
2. Панова К. М., Синяков В. Н. Физико-механические свойства старичных глин Нижнего Поволжья // Известия вузов. Геология и разведка. 1978. № 9.
3. Калашиник Ж. В. Оценка и прогноз изменения инженерно-геологических условий территории южной части Волго-Ахтубинской поймы и северной части дельты реки Волга для обоснования развития нефтегазового комплекса: автореф. дис... канд. геол.-минер. наук. Волгоград, 2008. 24 с.

4. *Алексиков И. С.* Обоснование прочности грунтов земляного полотна автомобильных дорог Нижнего Поволжья // Инженерные проблемы строительного материаловедения, геотехнического и дорожного строительства: материалы II науч.-техн. конф. Волгоград : ВолгГАСУ, 2009. С.141—144.
5. *Золотарь И. А., Пузаков Н. А., Сиденко В. М.* Водно-тепловой режим земляного полотна и дорожных одежд. М. : Транспорт, 1971. 416 с.
6. *Ефименко С. В.* Обоснование расчетных значений характеристик глинистых грунтов при проектировании дорожных одежд автомобильных дорог (на примере Западной Сибири): автореф. дисс... канд. техн. наук. Омск, 2006. 23 с.
7. 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.
8. *Борисов А. Е.* Технология ремонта дорожных одежд облегченного типа с использованием грунтобетонной смеси: дис... канд. техн. наук: 2.1.8. Воронеж, 2022. 14 с.
9. *Borisov A. E., Kanischev A. N., Mavienko 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.
10. *Xiaotong Ch., Jiexian Ch., Jun Zh., Rongsheng Ch.* Construction of road surfaces on the bases of reinforced soils // Doughan daxue xuebao. Ziran kexue ban. J. Southeast Univ. Natur. Sci. Ed. 2001. No. 3. Pp. 7—10.
11. Cold recycling. Wirtgen cold recycling technology. GmbH: Wingham, 2012. 367 p.
12. *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.
13. *Lau C. K., Cheng Y. M.* Slope Stability Analysis and Stabilization: New Methods and Insight. Hardcover, 2008. 241 p.
14. *Reuben H. K.* Chemical Grounding and Soil Stabilization, Revised and Expanded. New Jersey, USA. 2003. 584 p.
15. *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.
16. *Чудинов С. А.* Исследование влияния технологических факторов на прочность цементогрунтов // Вестник МАРГТУ. 2010. № 1. С. 46—52.
17. *Xu F., Zhao Y., Li K.* Using Waste Plastics as Asphalt Modifier: A Review // Materials 2022. Vol. 15. 110. DOI: 10.3390/ma15010110.
18. *Uray E.* Gabion structures and retaining walls design criteria // Advanced Engineering Science. 2022. Vol. 2. Pp. 127—134.

© Алексиков С. В., Лескин А. И., Лескина Л. М., Евдокименко А. О., Сосновский С. Н., 2024

Поступила в редакцию
в сентябре 2024 г.

Ссылка для цитирования:

Конструктивные особенности ремонта автомобильных дорог Волго-Ахтубинской поймы / С. В. Алексиков, А. И. Лескин, Л. М. Лескина, А. О. Евдокименко, С. Н. Сосновский // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2024. Вып. 4(97). С. 104—113. DOI: 10.35211/18154360_2024_4_104.

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

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

Евдокименко Андрей Олегович — аспирант каф. строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; andrei.yrt@mail.ru

Сосновский Сергей Николаевич — магистрант каф. строительства и эксплуатации транспортных сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; lex123a@yandex.ru

Sergei V. Aleksikov, Andrei I. Leskin, Leila Muaz Leskina, Andrey O. Evdokimenko, Sergey N. Sosnovsky

Volgograd State Technical University

DESIGN FEATURES OF REPAIR OF HIGHWAYS OF THE VOLGA-AKHTUBA FLOODPLAIN

The design features of the repair of regional highways located on the territory of the Volga-Akhtuba floodplain are due to significant wear and insufficient thickness of road coverings, high groundwater levels and flooding of the roadbed during spring floods. When repairing road clothes, the wear of their base and the reduced strength of the working layer of embankments due to increased soil moisture should be taken into account. It is rational to restore the strength of structures by recycling them. As a result of the intensive discharge of water from the Volga hydroelectric power station, erosion of embankment slopes is observed, due to the longitudinal flow of the water flow along the slope and sole, as well as the force action of waves and groundwater when aquifers exit onto the slope. The operation of roads in conditions of flooding by flood waters requires strengthening the slopes of embankments. Reducing the humidity of the working layer of the embankment is effective by widening and strengthening slopes in areas with high groundwater levels, as well as the installation of capillary-breaking layers or increasing the height of the embankment.

Key words: repair, road clothes, embankment, recycler, soil-concrete mixture, strengthening of slopes, widening.

For citation:

Aleksikov S. V., Leskin A. I., Leskina L. M., Evdokimenko A. O., Sosnovsky S. N. [Design features of repair of highways of the Volga-Akhtuba floodplain]. *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. 104—113. DOI: 10.35211/18154360_2024_4_104.

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

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

Andrey O. Evdokimenko — Postgraduate student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; andrei.yrt@mail.ru

Sergey N. Sosnovsky — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; lex123a@yandex.ru