

Динамика изменения эксплуатационного состояния автомобильных дорог с переходным типом дорожной одежды

А.В. Лопашук, Н.М. Малышев

Тихоокеанский государственный университет

Аннотация: Переходный тип дорожной одежды автомобильных дорог широко распространен на территории России. При этом, увеличенные расчетные межремонтные сроки в полной мере не могут обеспечиваться принятием существующих проектных решений по устройству покрытий переходных дорожных одежд. Это подтверждается динамикой изменения эксплуатационного состояния, представленной на примере автомобильной дороги регионального значения Биракан – Кульдур на участке км 0+000 – км 25+000 в Еврейской автономной области. Безотказность работы в течение расчетного межремонтного и расчетного сроков службы дорожной одежды оценивается по коэффициенту разрушения, предельные значения которого установлены в нормативной документации. Значительное снижение коэффициента разрушения дорожной одежды в течение первых нескольких лет эксплуатации свидетельствует о недостаточной прочности и устойчивости покрытия переходных дорожных одежд, что определяет необходимость разработки специальных мероприятий по их обеспечению.

Ключевые слова: автомобильная дорога, дорожная одежда, переходной тип дорожной одежды, покрытие, коэффициент разрушения, межремонтный срок службы, продольная ровность, прочность.

Переходной тип дорожной одежды широко распространен на территории Российской Федерации и встречается на автомобильных дорогах регионального и местного значения IV и V технических категорий. Дорожная одежда относится к переходному типу в том случае, если покрытие такой одежды состоит из щебня прочных пород, щебеночно-гравийно-песчаных смесей или из грунтов и малопрочных каменных материалов, укрепленных вяжущими, булыжного и колотого камня (мостовых). Такие дорожные одежды рассчитываются на возможность без разрушения воспринимать осевую нагрузку на одиночную наиболее нагруженную ось двухосного автомобиля в 100 кН.

В покрытиях дорожных одежд переходного типа возникают напряжения и деформации при быстродействующих и ударных нагрузках. Быстродействующие нагрузки, возникающие при движении автомобилей, отличаются от ударных. Колеса автомобилей находятся в непрерывном

контакте с поверхностью дороги, а движение колеса происходит вдоль поверхности. Ударная нагрузка может возникнуть при движении колеса, когда оно, преодолевая какую-либо неровность, отрывается от поверхности, а затем соударяется с ней. Ударные и быстродействующие нагрузки в покрытиях переходных дорожных одежд вызывают волновые процессы.

По сути, эти нагрузки и определяются напряженно-деформированное состояние дорожной одежды и связанные с ним деформации. При этом, дополнительно, подобного рода нагрузки обуславливают тиксотропные превращения материалов покрытий, что, в свою очередь, приводит к снижению их предела прочности и сопротивляемости внешним воздействиям [1].

В связи с этим, вопрос обеспечения прочности и устойчивости покрытия дорожных одежд переходного типа в течение расчетного межремонтного и расчетного сроков службы является актуальным.

Введением ГОСТ Р 58861-2020 «Дороги автомобильные общего пользования. Капитальный ремонт и ремонт. Планирование межремонтных сроков» были установлены новые, более продолжительные межремонтные сроки проведения работ по ремонту и капитальному ремонту автомобильных дорог, значения которых для нежестких дорожных одежд переходного типа на автомобильных дорогах общего пользования представлены в таблице 1.

Классификация работ по капитальному ремонту, ремонту и содержанию утверждена приказом Министерства транспорта Российской Федерации от 16 ноября 2012 года № 402.

При капитальном ремонте дорожных одежд переходного типа допускается их восстановление в местах исправления земляного полотна и водоотвода. При доведении параметров ремонтируемых участков дороги до значений, соответствующих ее фактической категории – полная замена дорожной одежды на новую, более прочную и долговечную. Иными словами,

при разработке проекта капитального ремонта автомобильной дороги с первоначально переходным типом дорожной одежды допускается изменять тип дорожной одежды на облегченный или капитальный при соответствующем технико-экономическом обосновании.

Таблица № 1

Межремонтные сроки проведения работ по ремонту и капитальному ремонту нежестких дорожных одежд переходного типа на автомобильных дорогах общего пользования

Тип дорожной одежды	Категория дороги	Межремонтные сроки проведения работ	
		По ремонту, лет	По капитальному ремонту, лет
Переходный	IV	12	24
	V	5	10

Ремонт автомобильных дорог с переходным типом дорожной одежды предусматривается восстановление профиля щебеночных, гравийных и грунтовых улучшенных дорог с добавлением щебеночных или гравийных материалов в количестве до 900 м³ на один километр дороги.

При этом содержание автомобильных дорог с переходным типом дорожной одежды предусматривает восстановление поперечного профиля и ровности проезжей части автомобильных дорог с щебеночным, гравийным или грунтовым покрытием без добавления новых материалов либо восстановление поперечного профиля и ровности проезжей части гравийных и щебеночных покрытий с добавлением щебня, гравия или других материалов с расходом до 300 м³ на 1 километр.

Межремонтный срок для ремонта устанавливается от момента окончания строительства, реконструкции или капитального ремонта до начала работ по ремонту, либо от окончания работ по ремонту до начала работ по капитальному ремонту и составляет для автомобильных дорог IV

технической категории 12 лет. В этот период проведение работ на эксплуатируемых автомобильных дорогах допускается, но только тех, которые регламентированы Классификацией, утвержденной приказом Минтранса России № 402, в рамках содержания. При этом, очевидно, каких-либо значительных работ по доведению транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог с переходным типом дорожной одежды до нормативных значений в рамках проведения работ по содержанию Классификацией не предусматривается. В связи с этим, при проектировании и строительстве (реконструкции, капитальном ремонте) автомобильных дорог с переходным типом дорожной одежды необходимы мероприятия, обеспечивающие эксплуатационную долговечность таких автомобильных дорог.

Очевидно, что разработка таких мероприятий должна осуществляться с учетом наблюдаемых на автомобильных дорогах с переходным типом дорожных одежд видов деформаций с оценкой динамики их появления. Здесь также необходима и общая оценка эксплуатационного состояния таких автомобильных дорог [2].

Эксплуатационное состояние дороги характеризуется транспортно-эксплуатационными показателями конструктивных элементов дорог, дорожных сооружений и элементов обустройства, изменяющихся при ее эксплуатации, воздействии транспортных средств и метеорологических условий.

Эксплуатационное состояние покрытия проезжей части на автомобильных дорогах с переходным типом дорожной одежды характеризуется следующими транспортно-эксплуатационными показателями:

1. Продольной ровностью по индексу IRI, м/км;
2. Наличием дефектов в виде колеи;

3. Прочностью дорожной одежды.

Согласно ГОСТ 33220-2015 «Дороги автомобильные общего пользования. Требования к эксплуатационному состоянию», значение показателя продольной ровности покрытия для автомобильной дороги IV технической категории не должно превышать 6.5 м/км, при этом глубина колеи должна быть не более 30 мм. В то же время, при вводе автомобильной дороги IV технической категории в эксплуатацию требуемое максимальное значение ровности составляет 2.6 м/км, согласно ГОСТ Р 59120-2020.

Таким образом, очевидно, что нормативными документами допускается потеря автомобильной дорогой ровности при ее эксплуатации в 2.5 раза по сравнению со значением, достигнутым в начале эксплуатационного периода. Однако, даже при таких обстоятельствах стоит отметить, что значение ровности в 6.5 м/км – достаточно высокий показатель, который может обеспечиваться применением специальных решений при проектировании и строительстве автомобильных дорог.

Продольная ровность покрытия дорожной одежды не обеспечена, если в результате проведения измерений было установлено, что ее фактическое значение отличается более чем на 5% от нормативного, представленного в соответствующих технических документах. О недостаточной ровности также может свидетельствовать наличие дефектов, параметры которых также отличаются от допустимых более чем на 5%.

Прочность дорожной одежды эксплуатируемых автомобильных дорог оценивается по значению общего модуля упругости, измеряемого на ее поверхности. В случае, если фактическое значение модуля упругости меньше требуемого более чем на 5 %, считается, что прочность на рассматриваемом участке не обеспечена.

Модуль упругости рассчитывается на этапе проектирования дорожной одежды [3]. Значение минимального требуемого модуля упругости E_{min} при

разработке проектной документации вычисляют по формуле:

$$E_{min} = 98.65 \cdot \sqrt{\frac{p}{0.6}} (lg \sum N_p - C) \quad (1)$$

где p – расчетное давление на покрытие в соответствии с ГОСТ 32960; $\sum N_p$ – суммарное расчетное число приложений приведенной расчетной нагрузки на полосу движения за нормативный межремонтный срок службы проведения работ по капитальному ремонту; C – эмпирический параметр, равный для расчетной нагрузки: А-10 - 3,55; А-11,5 - 3,20.

Вне зависимости от результатов расчета по формуле (1), значение модуля упругости нежесткой дорожной одежды переходного типа на автомобильных дорогах IV технической категории не может быть меньше 110 МПа.

Наличие участков с необеспеченной прочностью дорожной одежды и ровностью покрытия проезжей части может быть основанием для проведения работ по ремонту автомобильной дороги. При этом, окончательно необходимость проведения ремонтных работ оценивается по показателю коэффициента разрушения K_p , вычисляемого по формуле (2):

$$K_p = \left(\sum l_{пр} + \sum l_p \right) / l_{об} \quad (2)$$

где $\sum l_{пр}$ – сумма длин участков, на которых зафиксирована недостаточная прочность, км; $\sum l_p$ – сумма длин участков, на которых зафиксирована недостаточная ровность, км; $l_{об}$ – общая протяженность автомобильной дороги, км.

Предельное значение коэффициента разрушения для автомобильных дорог с переходным типом дорожной одежды составляет 0.40. Таким образом, на конец межремонтного периода не менее 60 % общей протяженности рассматриваемого участка автомобильной дороги должно находиться в нормативном состоянии.

Следует отметить, что на состояние автомобильных дорог в целом оказывают влияние множество факторов. Наиболее значимым из них является водно-тепловой режим, представляющий собой закономерное изменение температуры и влажности грунта земляного полотна в течение года [4]. Неблагоприятный водно-тепловой режим может приводить к деформациям различных конструктивных элементов автомобильных дорог. Здесь неблагоприятными факторами могут являться глубокое сезонное промерзание дорожной конструкции, ее избыточное увлажнение, наличие пучинистых или набухающих грунтов.

При этом деформации, связанных с неблагоприятным водно-тепловым режимом земляного полотна, образуются в земляном полотне, а значит, конструкция дорожной одежды, безусловно, оказывает влияние на их развитие, но не определяет их появление, как таковое.

Для автомобильных дорог с переходным типом дорожной одежды эксплуатационное состояние во многом определяется материалом покрытия. При этом для выбора оптимальных методов повышения эксплуатационного состояния дорог с переходным типом дорожной одежды необходимо оценить динамику снижения транспортно-эксплуатационных показателей.

Исследование динамики изменения эксплуатационного состояния проводилось на примере автомобильной дороги Биракан – Кульдур на участке км 0+000 – км 25+000, расположенной в Еврейской автономной области.

Значение фактического модуля упругости на поверхности автомобильной дороги Биракан – Кульдур представлено на рисунке 1, анализ которого показывает, что на участках дороги общей протяженностью 11 500 м фактический модуль упругости ниже минимально требуемого.

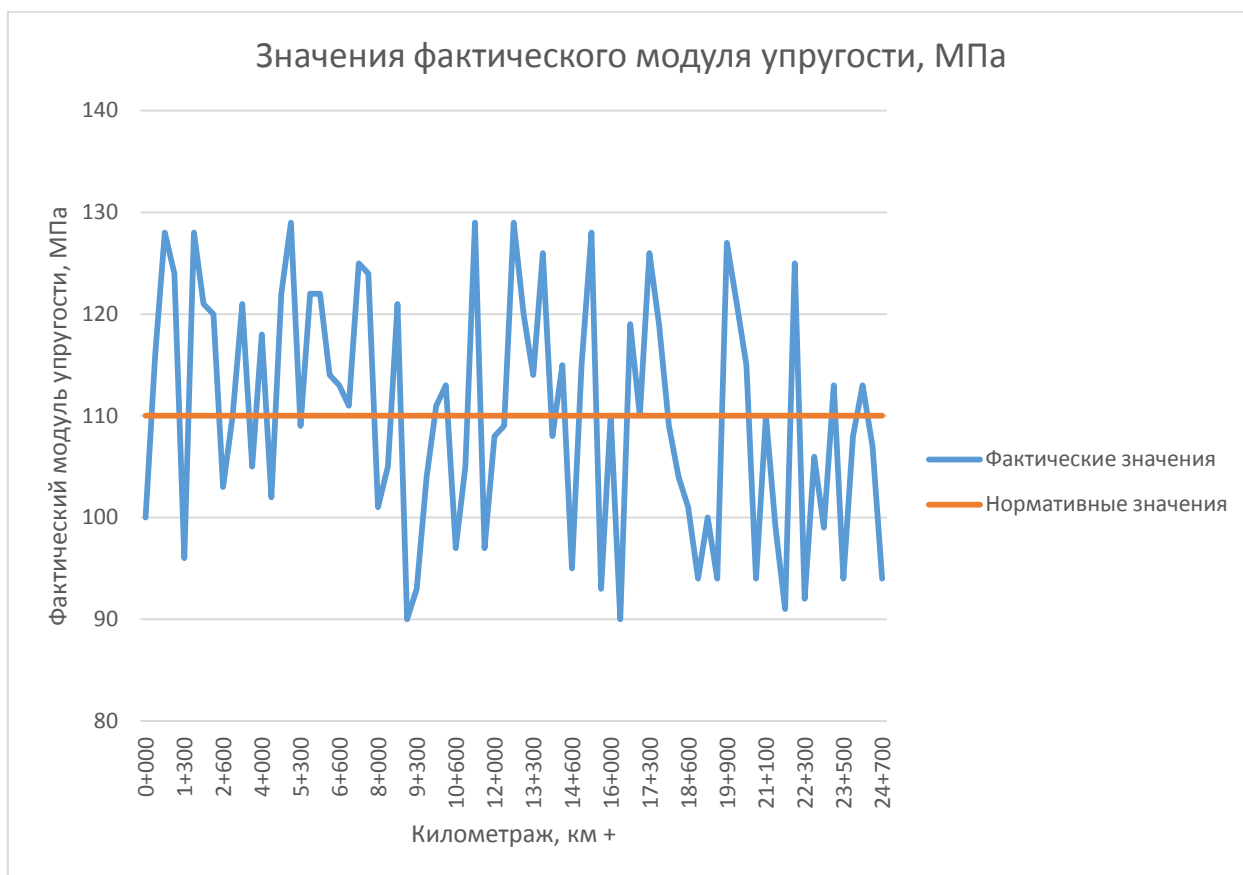


Рис. 1. – Значения фактического модуля упругости на поверхности автомобильной дороги Биракан – Кульдур

Значения продольной ровности по показателю IRI на автомобильной дороге Биракан – Кульдур представлено на рисунке 2, анализ которого показывает, что на участках дороги общей протяженностью 11 000 м продольная ровность не соответствует требованиям.

При расчете по формуле (2) общей протяженности участков, на которых зафиксированы недостаточные прочность дорожной одежды и ровность покрытия проезжей части не допускается двойной учет длин участков, на которых установлено не соответствие нормативным значениям обоих показателей. Таким образом, общая протяженность участков, на которых эксплуатационное состояние дорожной одежды по показателям продольной ровности и прочности не соответствует нормативным требованиям, составляет 17 700 м.

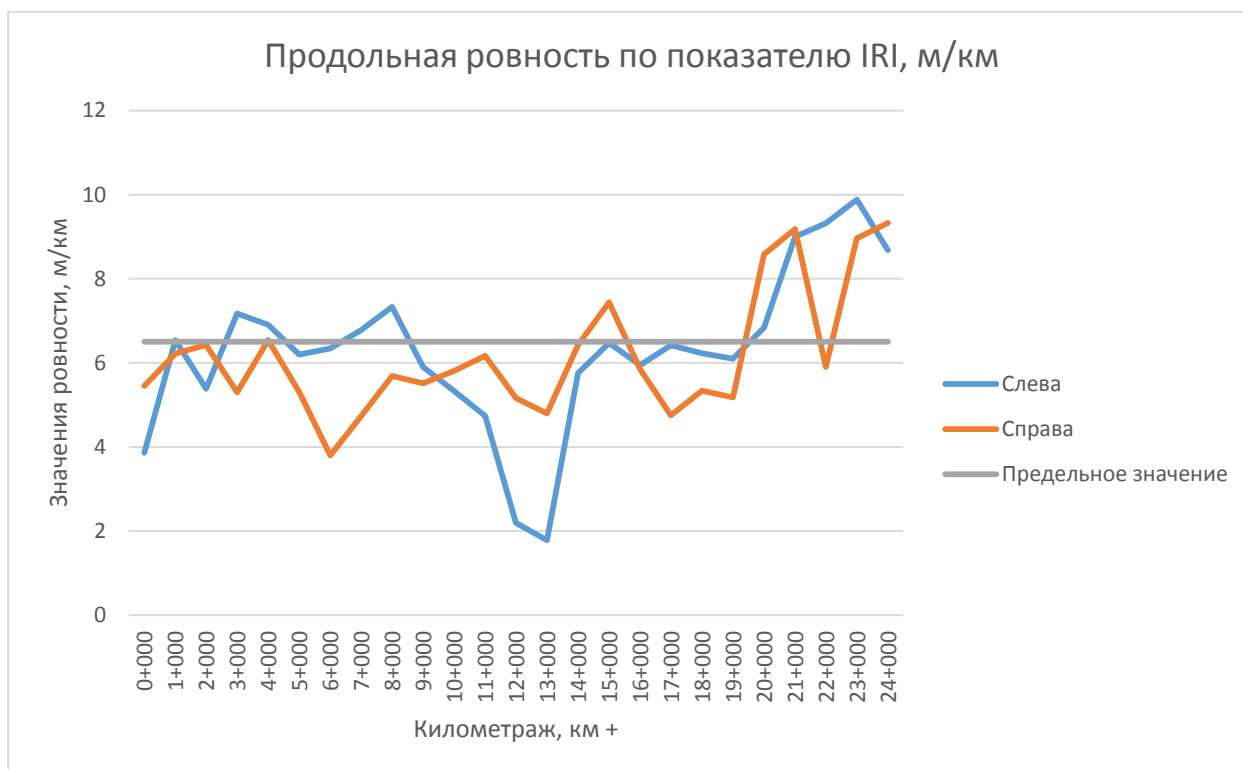


Рис. 2. – Значения продольной ровности по показателю IRI на автомобильной дороге Биракан – Кульдур

С учетом вышеизложенного, используя зависимость (2), получаем, что коэффициент разрушения рассматриваемого участка автомобильной дороги составляет 0.71, а значит, необходимо проведение работ по ремонту или капитальному ремонту автомобильной дороги.

Стоит отметить, что ремонт рассматриваемого участка автомобильной дороги IV технической категории проводился в 2018 году, что свидетельствует о недопустимой динамике снижения транспортно-эксплуатационного состояния. Но виды ремонтно-восстановительных работ и применяемые материалы назначались до того, как были увеличены межремонтные сроки. Однако этот факт свидетельствует о том, что применяемые методы, технологии и материалы в чистом виде не смогут обеспечить соблюдение требований нормативных документов к эксплуатационному состоянию покрытия с переходным типом дорожной одежды в течение межремонтного срока.

Одной из проблем автомобильных дорог с покрытиями низшего и переходного типов является их быстрое разрушение и образование глубокой колеиности, что затрудняет движение транспорта [5]. Наиболее наглядно разрушения дорожной конструкции могут быть зафиксированы с применением беспилотных летательных аппаратов [6, 7].

В то же время стоит отметить, что особенностью автомобильных дорог с переходным типом дорожной одежды является низкая сдвигоустойчивость слоя покрытия. Георадарные обследования, проведенные на таких автомобильных дорогах, показывают, в ряде случаев, полное отсутствие материала покрытия на основной проезжей части [8]. Переходный тип дорожной одежды не предусматривает возможность применения в покрытии прочных асфальтобетонных слоев, при этом даже допускаемые нормативными документами к применению грунты, обработанные различными вяжущими материалами, как правило, не применяются в связи с трудностями в их содержании. Это приводит к тому, что со временем материал покрытия просто перемещается под воздействием колес автомобилей к обочинам, либо неравномерно переносится вдоль автомобильной дороги, что приводит к потере ровности покрытия проезжей части и нарушению целостности конструкции в целом, поскольку движение автомобилей, по сути, происходит не по покрытию, а по верху рабочего слоя земляного полотна.

Обнажение грунта рабочего слоя в дальнейшем может негативно сказаться на эксплуатационном состоянии автомобильной дороги, поскольку вода, проникая в грунт и насыщая его, приводит к снижению прочности дорожной конструкции в целом, а значит, и к возникновению деформаций. При этом, степень разрушений во многом определяется местными природно-климатическими условиями [9].

Все это еще раз подтверждает, что значительная динамика снижения

эксплуатационного состояния автомобильных дорог с переходным типом дорожной одежды, конструкция которых разработана с использованием традиционных методов проектирования, не позволяет обеспечить соблюдение межремонтного срока службы. При таких обстоятельствах, а также с учетом значительных расчетных межремонтных сроков службы автомобильных дорог, необходима разработка мероприятий по обеспечению достаточной сдвигоустойчивости покрытия переходных типов дорожных одежд.

Одним из таких мероприятий может быть укрепление дорожно-строительных материалов, применяемых в покрытии переходных дорожных одежд, целью которого является изменение физико-механических свойств материала и доведение их до параметров, обеспечивающих надежную работу конструкции с учетом природно-климатических и экологических факторов [10].

Укрепление грунтов и дорожно-строительных материалов приводит к повышению их прочности и водостойкости. Сам по себе процесс укрепления грунтов – сложный, состоящий из нескольких различных технологических операций, среди которых:

1. Размельчение грунтов или смесей;
2. Равномерное перемешивание грунтов или смесей;
3. Добавление вяжущих материалов или других стабилизаторов;
4. Увлажнение (при необходимости);
5. Уплотнение до требуемого значения коэффициента уплотнения.

В результате укрепления грунтов получается конструктивный слой, имеющий более высокую плотность, прочность и устойчивость к воздействию воды, в сравнении со слоем, состоящим из того же материала, но дополнительно не укрепленным.

Для укрепления грунтов и материалов, используемых для возведения

конструктивных слоев дорожной одежды, могут применяться различные стабилизаторы: портландцемент, известь, битумные эмульсии, синтетические высокомолекулярные соединения и другие химические реагенты.

Укрепление материала покрытий переходных дорожных одежд дополнительно обосновывается необходимостью обеспечения пылеподавления. Известно, что для таких дорог характерно избыточное пылеобразование, которое влияет на безопасность и комфорт движения. Однако действующими нормативными документами такой показатель, как «пылимость» покрытия, никак не учитывается и представлен как транспортно-эксплуатационный показатель. При этом, опыт показывает, что количество дорожно-транспортных происшествий по причине недостаточной видимости в связи с избыточным пылеобразованием покрытия, велико.

Литература

1. Хархута Н.Я., Васильев Ю.М. Прочность, устойчивость и уплотнение грунтов земляного полотна автомобильных дорог. Москва: Транспорт, 1975., 288 с.
2. Минян Т.А. Повышение эффективности ремонта автомобильных дорог Северо-Восточной части КНР на основе оценки транспортно-эксплуатационного состояния: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.11. Хабаровск, 2015. 21 с.
3. Иванов Н.Н. Конструирование и расчет нежестких дорожных одежд. Москва: Транспорт, 1973., 328 с.
4. Золотарь И.А., Пузаков Н.А., Сиденко В.М. Водно-тепловой режим земляного полотна и дорожных одежд. Москва: Транспорт, 1971., 415 с.
5. Абрамова Л.И., Ивахникова А.С., Мокшин Р.И., Мокшин Д.И. Материалы для укрепления дорожного основания // Инновационное развитие науки и образования: сборник статей IX Международной научно-практической конференции: в 2 ч. Ч. 1. – Пенза, изд-во «Наука и

просвещение», 2020, 236 с. – С. 61 – 63.

6. Лопашук А.В., Лопашук А.В., Ермолин В.Н. Использование беспилотных летательных аппаратов для дефектовки поверхности покрытия. // Дальний Восток. Автомобильные дороги и безопасность движения. Межвузовский ежегодный сборник научных трудов. - Хабаровск: Изд-во Тихоокеанского гос. ун-та, 2020. -№.20. С.33-36.

7. Subirats P., Dumoulin J., Legeay V. and Barba D., "Automation of Pavement Surface Crack Detection using the Continuous Wavelet Transform," 2006 International Conference on Image Processing, 2006, pp. 3037-3040, doi: 10.1109/ICIP.2006.313007.

8. Лопашук В.В., Лопашук А.В., Ермолин В.Н., Черевко М.В. Георадарное обследование дорожной конструкции. // Дальний Восток. Автомобильные дороги и безопасность движения. Межвузовский ежегодный сборник научных трудов. - Хабаровск: Изд-во Тихоокеанского гос. ун-та, 2020. -№.20. С.54-59.

9. Лопашук А.В. Инженерная оценка природно-климатических условий строительства и эксплуатации автомобильных дорог Камчатского края. // Дальний Восток. Автомобильные дороги и безопасность движения: международный сборник научных трудов. – Хабаровск. Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2012. – №12. С. 42–48.

10. Безрук В.М. Укрепление грунтов в дорожном и аэродромном строительстве. Москва: Транспорт, 1971., 247 с.

References

1. Xarxuta N.Ya., Vasil`ev Yu.M. Prochnost`, ustojchivost` i uplotnenie gruntov zemlyanogo polotna avtomobil`ny`x dorog [Strength, stability and compaction of subgrade soils of highways]. Moskva: Transport, 1975. 288 p.

2. Minyan T.A. Povy`shenie e`ffektivnosti remonta avtomobil`ny`x dorog Severo-Vostochnoj chasti KNR na osnove ocenki transportno- `kspluatacionnogo

sostoyaniya [Improving the efficiency of repair of highways in the North-Eastern part of China based on the assessment of the transport and operational state]: dis. ... cand. tech. Sciences: 05.23.11. Khabarovsk, 2015. 21 p.

3. Ivanov N.N. Konstruirovaniye i raschet nezhestkix dorozhny`x odezhd [Design and calculation of non-rigid pavement]. Moskva: Transport, 1973. 328 p.

4. Zolotar` I.A., Puzakov N.A., Sidenko V.M. Vodno-teplovoj rezhim zemlyanogo polotna i dorozhny`x odezhd [Water-thermal regime of subgrade and pavement]. Moskva: Transport, 1971. 415 p.

5. Abramova L.I., Ivakhnikova A.S., Mokshin R.I., Mokshin D.I. Innovacionnoe razvitiye nauki i obrazovaniya: sbornik statej IX Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii (Innovative development of science and education: collection of articles of the IX International scientific and practical conference). Penza, 2020, pp. 61-63.

6. Lopashuk A.V., Lopashuk A.V., Ermolin V.N. Dal`nij Vostok. Avtomobil`ny`e dorogi i bezopasnost` dvizheniya. Mezhvuzovskij ezhegodny`j sbornik nauchny`x trudov [Far East. Highways and traffic safety. Interuniversity annual collection of scientific papers]. Khabarovsk, 2020, pp.33-36.

7. Subirats P., Dumoulin J., Legeay V. and Barba D., "Automation of Pavement Surface Crack Detection using the Continuous Wavelet Transform," 2006 International Conference on Image Processing, 2006, pp. 3037-3040, doi: 10.1109/ICIP.2006.313007.

8. Lopashuk V.V., Lopashuk A.V., Ermolin V.N., Cherevko M.V. Dal`nij Vostok. Avtomobil`ny`e dorogi i bezopasnost` dvizheniya. Mezhvuzovskij ezhegodny`j sbornik nauchny`x trudov [Far East. Highways and traffic safety. Interuniversity annual collection of scientific papers]. Khabarovsk, 2020. pp.54-59.

9. Lopashuk A.V. Dal`nij Vostok. Avtomobil`ny`e dorogi i bezopasnost` dvizheniya. Mezhvuzovskij ezhegodny`j sbornik nauchny`x trudov [Far East. Highways and traffic safety. Interuniversity annual collection of scientific papers].



Khabarovsk, 2012. pp. 42-48.

10. Bezruk V.M. Ukreplenie gruntov v dorozhnom i ae`rodromnom stroitel`stve [Soil strengthening in road and airfield construction]. Moskva: Transport, 1971, 247 p.