

УДК 625.76

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДОРОЖНОЙ РАЗМЕТКИ

В.В. Голубенко, А.С. Александров, В.В. Сиротюк
ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Актуальность рассматриваемого вопроса подчеркнута в Стратегии провозглашения стремления к нулевой смертности на дорогах страны. Повышение функциональной долговечности (срока службы) горизонтальной дорожной разметки является эффективным и дешёвым способом организации движения автомобилей и пешеходов, что может понизить количество ДТП на 15–30%.

Методы. Выполнен детальный анализ факторов, влияющих на функциональную долговечность (срок службы) горизонтальной дорожной разметки и методов прогнозирования долговечности.

Результаты. Установлены основные факторы, определяющие функциональную долговечность горизонтальной дорожной разметки. Они разделены на пять групп: погодно-климатические; механические; свойства материала разметки; технологические; свойства дорожного покрытия. В статье представлен критический анализ существующих методов прогнозирования функциональной долговечности горизонтальной разметки. В зарубежных публикациях по рассматриваемому вопросу нет работ по прогнозированию функциональной долговечности горизонтальной разметки путём создания сложных математических моделей. Большинство зарубежных и российских моделей основаны на эмпирических зависимостях. Эти методы и модели не учитывают ряд важных факторов, например: степень шероховатости и истираемость каменных материалов, их втапливание в асфальтобетонное покрытие и др.

Обсуждение и заключение. Авторы пришли к выводу, что попытки создания единой достоверной математической модели, учитывающей более 40 факторов, нереальны. Поэтому поставлена задача разработки ряда моделей, позволяющих в большей мере учитывать свойства дорожного покрытия, местоположение и разновидность разметочных линий и более достоверно прогнозировать функциональную долговечность горизонтальной дорожной разметки для разных типов дорожных покрытий.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: дорожная разметка, факторы, влияющие на долговечность, прогнозирование функциональной долговечности.

© В.В. Голубенко, А.С. Александров, В.В. Сиротюк



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ANALYSIS OF PREDICTION METHODS FOR THE FUNCTIONAL DURABILITY OF ROAD MARKINGS

V.V. Golubenko, A.A. Aleksandrov, V.V. Sirotiyuk
Siberian State Automobile and Highway University, Omsk, Russia

ABSTRACT

Introduction. *The actuality of the research is emphasized in the Strategy of proclaiming the desire for zero mortality on the country's roads. Increasing the functional durability (the service life period) of horizontal road markings is an effective and cheap way to organize the movement of vehicles and pedestrians, which could reduce the number of accidents by 15-30%.*

Methods. *The detailed factor analysis, influenced on the functional durability of the horizontal road markings and on the durability forecasting methods, is made by the authors.*

Results. *The authors have established the main factors determining the functional durability of the horizontal road marking. They are divided into five groups: weather-climatic; mechanical; properties of the marking material; technological; properties of the road pavement. Moreover, the article presents a critical analysis of the existing methods of forecasting the functional durability of horizontal marking. In foreign publications on the issue under consideration there is no work on the prediction of the functional durability of horizontal marking by creating complex mathematical models. Most foreign and Russian models are based on empirical dependences. However, these methods and models do not take into account a number of important factors, such as the degree of roughness and abrasion of stone materials, their embedding in asphalt concrete coating, etc.*

Discussion and conclusion. *The authors came to the conclusion that attempts to create a single reliable mathematical model that takes into account more than 40 factors couldn't be realistic. Therefore, there is a task of developing a number of models that allow to have greater extent that take into account the properties of the road surface, the location and variety of marking lines and predict the functional durability of horizontal road markings for different types of road pavement more reliably.*

KEYWORDS: *road marking, factors affecting the durability, prediction of functional durability.*

© V.V. Golubenko, A.A. Aleksandrov, V.V. Sirotiyuk



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы данной публикации обоснована следующими обстоятельствами. Премьер-министр России Д.А. Медведев на заседании 22 января 2018 г. заявил об утверждении Стратегии безопасности дорожного движения в Российской Федерации на 2018–2024 гг¹. В Стратегии приводятся данные по аварийности за период с 2007 по 2016 гг. В стране за это время в ДТП погибла 271 тыс. человек, еще 2,5 млн человек пострадали. Стратегия провозглашает стремление к нулевой смертности на дорогах страны к 2030 г.

Дорожная разметка является важным и относительно дешёвым средством организации движения транспортных средств и пешеходов. Она снижает аварийность на дорогах от 15 до 30% [1]. Установлено² [2], что нанесение горизонтальных регулировочных линий способствует повышению средней скорости потока автомобилей на 10–15%. При этом пропускная способность возрастает до 20%.

Первая дорожная разметка возникла в 1911 г. в штате Мичиган, США³. В России первая дорожная разметка появилась в июне 1933 г. в Москве⁴. До 60-х годов отсутствовала чёткая законодательная база, регламентирующая нанесение разметки, затем в СССР были введены единые правила движения. В 1975 г. был введён ГОСТ 13508, касающийся дорожной разметки и разработанный на основе международных соглашений, а в 1977 г. – ВСН 23-75 Указания по разметке автомобильных дорог. Эти документы были подготовлены на основе исследований, выполненных под руководством М.Б. Афанасьева, В.Д. Бабкова, В.Д. Белова, А.П. Васильева, Г.М. Лобанова и др.

До настоящего времени не существует комплексных математических моделей для достоверного прогнозирования функциональной долговечности (срока службы) горизонтальной дорожной разметки. Это в свою очередь не позволяет выбирать наиболее эффективные разметочные материалы, своевременно планировать сроки и потребные ресурсы для

возобновления разметки на автомобильных дорогах и городских улицах. С появлением методов прогнозирования появится возможность поддерживать потребительские свойства дороги на высоком уровне при снижении эксплуатационных затрат.

Данное исследование носит обзорный характер с целью установить возможность и целесообразность разработки комплексной или частных моделей для прогнозирования функциональной долговечности горизонтальной дорожной разметки.

Нормирование функциональной долговечности. Установлено [3, 4], что разметка эффективна, если она обладает следующими свойствами:

- хорошо видима в любое время суток и в разных погодных условиях;
- обладает устойчивостью к изменениям температуры, химическим и метеорологическим воздействиям;
- обеспечивает необходимое для безопасного движения сцепление колеса с дорогой;
- быстро формируется после нанесения;
- обладает долговечностью, т.е. имеет необходимый срок эксплуатации.

Функциональная долговечность разметки определяется периодом времени, в течение которого она отвечает техническим требованиям, которые указаны в ГОСТ 32953 и ГОСТ Р 51256.

За рубежом разработаны стандарты, определяющие требования к разметочным материалам, способы их нанесения и т.д.: EN 1423, EN 1424, EN 1436, EN 1463, EN 1790, EN 1824, EN 1871, EN 12802, EN 13197, EN 13212, ENV 13459, ONORM B 2440, BS 6044, BS 7396, TTR-115F.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ РАЗМЕТКИ

Для разработки математической модели необходимо установить и исследовать все основные факторы, влияющие на долговеч-

¹ Стратегия безопасности движения: в планах нулевая смертность на дорогах [Электронный ресурс]. http://dorinfo.ru/99_detail.php. ELEMENT_ID=61861 (дата обращения: 24.07.2018).

² Материалы для разметки дорог [Электронный ресурс]. <http://xn----itbqdggnn6b.xn--p1ai/references/view/reference/> (дата обращения: 23.07.2018).

³ Прошлое и настоящее дорожной разметки [Электронный ресурс]. http://spectr-pdd.ru/Dorognaya_razmetka (дата обращения 22.07.2018).

⁴ Дорожная разметка в России [Электронный ресурс]. <https://ru.wikipedia.org/wiki> (дата обращения 21.07.2018).

ность. На основании наших исследований⁵ [5] и анализа работ^{6 7 8} [6,7,8,9,10,11] эти факторы установлены и разделены на пять групп (таблица).

Из приведённых данных следует, что прогнозирование срока службы (функциональной

долговечности) горизонтальной дорожной разметки в процессе эксплуатации дороги является очень сложной многофакторной задачей. Более 40 факторов (см. табл.) в той или иной степени влияют на функциональную долговечность.

ТАБЛИЦА
ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ФУНКЦИОНАЛЬНУЮ ДОЛГОВЕЧНОСТЬ (СРОК СЛУЖБЫ)
ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ДОРОЖНОЙ РАЗМЕТКИ
TABLE
FACTORS AFFECTING FUNCTIONAL DURABILITY (SERVICE LIFE) OF
HORIZONTAL ROAD MARKING

Наименование факторов				
1. Погодно-климатические	2. Механические	3. Свойства материала разметки	4. Технологические	5. Свойства дорожного покрытия
1.1. Количество переходов температуры через ноль градусов 1.2. Температура воздуха и покрытия 1.3. Продолжительность тёплого и холодного периодов 1.4. Интенсивность солнечной радиации 1.5. Интенсивность осадков 1.6. Относительная влажность воздуха	2.1. Количество наездов машин 2.2. Интенсивность торможения и ускорения машин 2.3. Удельная нагрузка на колесо 2.4. Вид и твёрдость протектора 2.5. Наличие и количество шипов в шине 2.6. Интенсивность воздействия машин для очистки покрытия	3.1. Величина и стабильность адгезионных свойств 3.2. Стойкость к истиранию 3.3. Величина и стабильность световых показателей 3.4. Величина коэффициента сцепления шины с материалом разметки 3.5. Водостойкость 3.6. Стойкость к химическим веществам и растворителям 3.7. Загрязняемость 3.8. Твёрдость 3.9. Вязкость 3.10. Время высыхания 3.11. Содержание нелетучих веществ 3.12. Температура хрупкости 3.13. Расслаиваемость 3.14. Температура размягчения 3.15. Наличие и свойства микростеклошариков	4.1. Удельный расход разметочного материала 4.2. Чистота покрытия при нанесении и содержании 4.3. Температура покрытия при нанесении 4.4. Влажность покрытия при нанесении 4.5. Способ нанесения 4.6. Температура материала	5.1. Вид покрытия 5.2. Величина когезии 5.3. Величина шероховатости 5.4. Истираемость каменного материала 5.5. Деформативность материала покрытия 5.6. Наличие абразива на покрытии 5.7. Свойства вяжущего в покрытии 5.8. Различия коэффициента расширения материала разметки и покрытия

⁵ Голубенко В.В. Влияние свойств асфальтобетонного покрытия на срок службы горизонтальной разметки: Автореф. дис. канд. техн. наук. Омск, 2003. 18 с.

⁶ Юшков Б.С., Бургонудинов А.М., Юшков В.С. Исследование долговечности дорожной горизонтальной разметки в климатических условиях Урала // Технические науки: проблемы и перспективы: материалы Междунар. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, март 2011 г.). СПб.: Реноме, 2011. С. 208-212. URL <https://moluch.ru/conf/tech/archive/2/64/> (дата обращения: 24.07.2018).

⁷ Бочкарёв В.И. Разработка требований и метода оценки трещиностойкости термопластиков для дорожной разметки: Автореф. дис. канд. техн. наук. М., 2000. 18 с.

⁸ Красильников А.И. Разметка автомобильных дорог: материалы, технология: Автореф. дис. канд. техн. наук. Ленинград, 1990. 18 с.

В зарубежных исследованиях по дорожной разметке^{9 10 11 12 13 14 15 16} [12,13] практически отсутствуют попытки разработки комплексных математических моделей для прогнозирования её функциональной долговечности. В работах приводятся результаты испытаний конкретных разметочных материалов, нанесённых на разные дорожные покрытия.

Постоянную горизонтальную разметку (о которой идёт речь в данной статье) выполняют красками (эмальями), термопластиками и холодными пластиками, полимерными лентами и штучными формами. Большое разнообразие материалов, применяемых для нанесения дорожной разметки, требует поиска методов расчёта для каждого типа материалов.

Наибольшей долговечностью обладают полосы разметки из термопласта. Однако архаичные методы разогрева этих материалов в котлах с ограничением температуры из-за интенсивного старения пластика вынуждают наносить слои из термопласта избыточной толщиной 3–6 мм. Более эффективно наносить термопласты на покрытия методом плазменного или газопламенного напыления [5] со сверхзвуковой скоростью струи. При этом достаточно толщины слоя 0,6–0,9 мм.

Полосу дорожной разметки значительной толщины (3–6 мм) можно рассматривать как отдельный конструктивный слой [14,15,16,17,18,19,20,21,22,23]. При этом целесообразно использовать методики расчёта пластин и тонких слоёв. Важен выбор расчётной модели слоистого полупространства, подстилающего

разметку.

Оценку прочности материалов разметки, работающих на растяжение (ленты и плёнки), можно производить на основе расчётно-мембранных моделей [24,25,26]. Мембранная модель представляет собой набор простых или сложных реологических тел, перекрытых мембраной. Например, модель М.М. Филоненко-Бородича является основанием Винклера, поверх пружин которого натянута мембрана. При деформировании пружин в мембране появляются растягивающие напряжения.

А.И. Красильников¹⁷ использовал решение проф. И.А. Медникова¹⁸ [20], в соответствии с которым растягивающее напряжение в термопластике определяют по формуле

$$\sigma_{pac} = \frac{t}{an}, \quad (1)$$

где t – интенсивность горизонтальной составляющей нагрузки, МПа; a – ширина отпечатка нагрузки, м;

$$n = \sqrt{\frac{C_3(1-\mu^2)}{Eh}}, \quad (2)$$

где C_3 – коэффициент постели термопластика, МН/м; E – модуль упругости термопластика, МПа; μ – коэффициент Пуассона термопластика; h – толщина слоя разметки, м.

Произведём анализ формулы (2).

1. Механические характеристики слоистого полупространства C_3 и термопластика E не

⁹ AASHO Road Test [Электронный ресурс] URL: <http://www.camineros.com/docs/cam003.pdf> (дата обращения 20.07.2018).

¹⁰ Expressway & Transportation Research Institute [Электронный ресурс] URL: <http://research.ex.co.kr/en/index.jsp> (дата обращения 20.07.2018).

¹¹ Korea Expressway Corporation [Электронный ресурс] URL: http://www.ex.co.kr/english/company/cor_Overview/PnM/com_cor_pur.jsp (дата обращения 20.07.2018).

¹² Minnesota Department of Transportation [Электронный ресурс] URL: <http://www.dot.state.mn.us/mnroad/> (дата обращения 20.07.2018).

¹³ Guide to the marking industry in the uk [Электронный ресурс] URL: <http://www.bridgepointroadmarkings.com/wp-content/uploads/2012/07/RSMA-Top-Marks-brochure.pdf> (дата обращения 20.07.2018).

¹⁴ Transport Research Center of CEDEX [Электронный ресурс] URL: <http://www.cedex.es/ingles/presentacion/datos/instalaciones/ins1.html> (дата обращения 20.07.2018).

¹⁵ Transportation Research Board [Электронный ресурс] URL: <http://www.trb.org> (дата обращения 20.07.2018).

¹⁶ Pugin K.G., Jushkov W.S. Modern materials of drawing of road sectoring // materials international scientifically-practical conference of «The Problem of functioning of systems of transport», Tyumen. 2010. pp. 275-278.

¹⁷ Красильников А.И. Разметка автомобильных дорог: материалы, технология: Автореф. дис. канд. техн. наук. Ленинград, 1990. 18 с.

¹⁸ Медников И.А. Исследование по теории расчета бетонных покрытий автомобильных дорог: Автореф. дис. д-ра техн. наук. М.: 1965. 64 с.

зависят от продолжительности напряжённого состояния и количества реализованных нагрузок.

2. Не учитывается способность термопластика релаксировать напряжения, что необходимо для прогнозирования квазихрупкого или высокоэластического разрушения.

3. Не учитывается уровень и продолжительность напряжённого состояния, количество приложенных нагрузок, что не соответствует реальной картине нагружения.

4. Методика А.И. Красильникова не учитывает распределение проходов автомобилей по ширине проезжей части, что не даёт возможности прогнозировать срок службы различных типов разметок. Отмеченные недостатки обуславливают необходимость модернизации метода расчёта, предложенного А.И. Красильниковым¹⁹.

Формула, рекомендованная В.И. Бочкарёвым²⁰ [6], учитывает релаксацию напряжения, которая описывается уравнением тела Максвелла. Особенность тела Максвелла заключается в том, что начальное напряжение релаксирует до нулевого значения, что не соответствует действительности. Реальные тела релаксируют напряжения лишь до определённого значения являющимся конечным напряжением.

А.И. Красильников и В.И. Бочкарёв^{21 22} пришли к выводу, что оптимальные условия работы термопластика создаются при температурах, обуславливающих его высокоэластическое состояние. В этом состоянии материал быстро релаксирует напряжение, что благоприятно сказывается на предельном состоянии по прочности. Однако авторы не учитывают образование необратимых деформаций сдвига и уплотнения термопластика, которые будут возрастать с увеличением температуры. При необратимой деформации сдвига проис-

ходит необратимое изменение формы разметки, сопровождаемое уменьшением её толщины и увеличением площади в плане.

Данная картина поведения термопластика при высоких температурах характерна для отечественных и некоторых импортных составов ТПК, ФЦДТ Союз, Сваркотем [7,8,9,10]. При деформации уплотнения уменьшается объём разметки. Следовательно, при высокоэластических деформациях толщина разметки уменьшается, что приводит к увеличению интенсивности износа, обусловленного истиранием краски. Кроме того, авторы, рассматривая хрупкое и высокоэластическое состояния термопластика, упустили из виду промежуточное квазихрупкое состояние.

Квазихрупкое состояние материала^{23 24} [14,27,28,29,30,31] проявляется в определённом диапазоне температур. Нижней границей этого диапазона является температура хрупкости, а верхней – квазихрупкости. При квазихрупком состоянии в зоне дефекта структуры материала (пора, трещина и т.п.) возникает пластическая зона, в пределах которой протекает релаксация напряжений. Релаксация напряжений у конца структурного дефекта обуславливает вязкопластическую деформацию, за счёт которой происходит удлинение трещины, а следовательно, и увеличение коэффициента концентрации напряжений. Таким образом, по мере роста трещины увеличивается интенсивность квазихрупкого разрушения. Однако в квазихрупком состоянии прочность материалов выше, чем в высокоэластическом, поэтому при определённых условиях квазихрупкое состояние будет более долговечным, чем высокоэластическое.

Наибольшее распространение получила разметка, выполняемая красками. Данный вид разметки является наиболее дешёвым, но и наименее долговечным. Быстрый износ

¹⁹ Красильников А.И. Разметка автомобильных дорог: материалы, технология: Автореф. дис. канд. техн. наук. Ленинград, 1990. 18 с.

²⁰ Бочкарёв В.И. Разработка требований и метода оценки трещиностойкости термопластиков для дорожной разметки: Автореф. дис. канд. техн. наук. М., 2000. 18 с.

²¹ Бочкарёв В.И. Разработка требований и метода оценки трещиностойкости термопластиков для дорожной разметки: Автореф. дис. канд. техн. наук. М., 2000. 18 с.

²² Красильников А.И. Разметка автомобильных дорог: материалы, технология: Автореф. дис. канд. техн. наук. Ленинград, 1990. 18 с.

²³ Ермакович Д.В. Анализ упруго-вязкой стадии деформирования слоев нежестких дорожных одежд на основе механических диаграмм // Материалы Всесоюзной межвузовской научно-технической конференции по прочности дорожных одежд. Харьков, 1968. С. 57–61.

²⁴ Золотарёв В.А. О некоторых зависимостях структурно-механических свойств асфальтобетона // Материалы межвузовской научно-технической конференции по прочности дорожных одежд. Киев, 1968. С. 151-154.

разметки из водостойких красок обусловлен прямым воздействием транспортных нагрузок.

В Союздорнии выполнены экспериментальные исследования по изучению износа разметки, выполненной красками [7,8,9,10]. Испытания проводили на лабораторном стенде, главным элементом которого являлась подвижная пара обрешиненных колёс. Целью эксперимента являлось определение количества проходов колёс, необходимого на истирание краски толщиной 1 мкм. Это количество получило название «показатель износостойкости». Параллельно лабораторным исследованиям был проведён комплекс испытаний на эксплуатирующихся дорогах. В результате авторы получили эмпирическую формулу для определения срока службы разметки:

$$T = \frac{a \cdot I \cdot H}{30N}, \quad (3)$$

где T – срок службы разметки, мес.; a – переходный коэффициент, равный 450; I – износостойкость на стенде, прох./мкм; H – толщина слоя, мкм; N – интенсивность движения авт./сут.

Недостатки формулы (3) вытекают из анализа методики лабораторных исследований:

1. Воздействие на разметку оказывалось гладким колесом без регулирования давления воздуха в шине. Поэтому показатель I имеет завышенные значения по сравнению с фактической величиной.

2. Формула не учитывает неодинаковую повторяемость приложения нагрузок к различным видам разметки.

3. Не учитывается шероховатость покрытия.

Анализ выполненных исследований показал, что в них не учитываются такие существенные факторы, как шероховатость и тип дорожного покрытия, вид разметочной линии. Вопрос о долговечности дорожной разметки необходимо рассматривать, изучая совместную работу разметочного материала и дорожного покрытия.

Анализируя работы, выполненные в области устойчивости слоёв износа дорожного по-

крытия^{25 26 27} [22,32,33,34,35], можно выделить несколько разновидностей разрушений и деформаций, обуславливающих долговечность этого элемента дорожной конструкции.

По И.Н. Христолюбову²⁷ износ поверхностной обработки определяется по формуле

$$h_t = h_o - h_{uc} - h_{e.m} - h_{t.b} + h_{\Delta t}, \quad (4)$$

где h_t – высота выступов зёрен на момент t эксплуатации дороги, мм; h_o – начальная высота зёрен, мм; h_{uc} – износ, обусловленный приработкой и шлифованием зёрен каменного материала, мм; $h_{e.m}$ – износ, обусловленный втапливанием зёрен в покрытие, мм; $h_{t.b}$ – толщина поднятия уровня битума при тепловом расширении, мм; $h_{\Delta t}$ – величина, обусловленная разницей температурного сжатия битума и зёрен каменного материала при охлаждении, мм.

Анализируя (4), следует заметить, что истирание щебня является круглогодичным процессом, а втапливание будет иметь место только в тёплый период года, как и деформация расширения битума $h_{t.b}$. Формула не учитывает возможности износа поверхностной обработки, вызванного отрывом зёрен от материала подложки в результате его хрупкого или квазихрупкого разрушения.

Изменение шероховатости покрытия в процессе приработки зёрен определяется по формуле М.В. Немчинова [33]:

$$R_a = a \cdot \exp(-b \cdot N) + c, \quad (5)$$

где R_a – высота неровностей макрошероховатости, мм; a , b и c – коэффициенты, зависящие от размера щебня и твёрдости покрытия; N – количество прошедших автомобилей.

Эту эмпирическую зависимость можно использовать после проведения большого количества экспериментов с тем, чтобы установить коэффициенты a , b и c для различных материалов поверхностной обработки и покрытия.

Для назначения начальной макрошероховатости $R_{нач}$ М.В. Немчинов [53] рекомендует формулу:

²⁵ Близниченко С.С., Китани В.В. Способы обеспечения долговечности дорожной обработки дорожных покрытий // Тр. Международной научно-технической конференции «Реконструкция и ремонт транспортных сооружений в климатических условиях Севера». М., 1999. С. 19-21

²⁶ Хвоинский Л.А. Исследование и разработка методов обеспечения устойчивости дорожных конструкций автомобильных дорог Западной Сибири: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Омск, 2001. 17 с.

²⁷ Христолюбов И.Н. Обеспечение сцепных качеств дорожных покрытий: автореф. канд. техн. наук. Москва, 1988. 22 с.

$$R_{нач} = \frac{(1 - R_{кон})\%}{\Delta R_a \cdot 100\%}, \quad (6)$$

где $R_{кон}$ – макрошероховатость, соответствующая завершению процесса интенсивного втапливания щебня в новое покрытие; ΔR_a – износ, зависящий от интенсивности движения, определяемый по специальной номограмме, %.

$$R_{кон} = R_{нач} \cdot (1 - K), \quad (7)$$

где K – коэффициент приработки слоя.

Обзор работ²⁸ [33] показал целесообразность исследования процесса приработки и шлифования зёрен поверхностной обработки экспериментальным путём. При этом целью эксперимента должно являться получение эмпирических зависимостей, связывающих относительный износ поверхностной обработки и количество реализованных нагрузок, исчисляемых в расчётных единицах.

В зимний период года зёрна каменного материала в слое износа могут отрываться от подложки. В результате на покрытии образуются «лысые места» без слоя поверхностной обработки и разметочного материала [34]. Экспериментальные исследования показывают, что наилучшая устойчивость зёрен достигается при использовании в качестве материала подложки резинобитумной композиции, мастики, катионной эмульсии, полимерно-битумной катионной эмульсии, литой эмульсионно-минеральной катионной смеси.

Теоретическое исследование устойчивости зёрен в слое износа выполнено А.В. Смирновым [22,35]. Условия устойчивости имеют вид:

- для зерна в виде шара:

$$\frac{\theta}{2}(d - W) = \left[\left(\frac{1}{2\pi} \sqrt[3]{\frac{24PE_2^2}{(1 - \mu_2)^2 d^2}} \right) \{g\phi + c\} \pi h_n (2d - h_n) \frac{d}{2} \right] \quad (8)$$

$$\frac{\theta}{2}(d - W) = \left[R_{сж} + R_{раст} + \left(\frac{1}{2\pi} \sqrt[3]{\frac{24PE_2^2}{(1 - \mu_2)^2 d^2}} \right) \{g\phi + c\} \pi h_n (2d - h_n) \frac{d}{4} \right] \quad (9)$$

- для зерна в виде пирамиды:

$$Q = 0.25h \cdot n \cdot d \cdot \sqrt{3(R_{срез} + R_{раст}) + 3d^2 \cdot R_{срез}} \quad (10)$$

$$Q = \frac{1}{3} \left[2h \cdot n \cdot \sqrt{3 \cdot (R_{срез} + R_{сж}) + 3d \cdot R_{раст} - P\sqrt{3}} \right], \quad (11)$$

где d – диаметр шарообразного зерна или шара, описываемого вокруг пирамиды, м; Q – горизонтальное усилие, передаваемое колесом на зерно, Н; W – деформация вдавливания зерна в пневматик; E и μ – модуль упругости и коэффициент Пуассона материала пневматического колеса; $R_{срез}$, $R_{сж}$, $R_{раст}$ – прочность льда на срез, сжатие и растяжения, МПа.

Работа А.В. Смирнова является одной из немногих в области оценки устойчивости зерна при отрыве колесом автомобиля. Однако в формулах (8) – (11) не учитываются продолжительность напряжённого состояния и количество реализованных нагрузок. В связи с чем невозможно определить срок службы зёрен (момент времени, соответствующий отрыву зёрен). А в формулах (10)

²⁸ Христолюбов И.Н. Обеспечение сцепных качеств дорожных покрытий: Автореф. канд. техн. наук. Москва, 1988. 22 с.

– (11) имеет место суммирование слагаемых разной размерности (что вряд ли допустимо). Развитие методики А.В. Смирнова может заключаться в учёте кратковременности приложения нагрузок и усталостных процессов. В результате раскрытия зависимости механических характеристик от продолжительности силового воздействия и количества циклических нагрузок появится возможность прогнозировать срок службы поверхностной обработки с нанесённой на неё разметкой.

Уменьшение шероховатости покрытия может быть обусловлено втапливанием зёрен каменного материала в покрытие из термопластичного материала. По А.В. Смирнову количество реализованных нагрузок, необходимых на втапливания зерна с относительной остаточной деформацией $\lambda=d/h$, описывается формулой

$$N_{\lambda} = \frac{365 \cdot T \cdot i}{12\gamma} \cdot 10^{\left(\frac{2 \cdot E_{\partial} \cdot \lambda}{\pi \cdot \sigma_{срi} \cdot \mu} \right)}, \quad (12)$$

где T – срок службы поверхностной обработки, лет; γ – коэффициент, принимаемый для двухполосной проезжей части, равный 1, для четырёхполосной 0,75; i – число тёплых месяцев в году с температурой покрытия выше 0°C; λ – допускаемая значения относительной остаточной деформации (d/h); $\sigma_{срi}$ – среднее напряжение в слое под зерном в i -й месяц тёплого периода года, МПа; E_{∂} – модуль деформации материала покрытия, МПа; μ – коэффициент Пуассона материала покрытия.

Глубину втапливания зёрен щебня можно определить из многочисленных разновидностей деформационных и реологических теорий^{29, 30} [25,28,35,36].

Подробный анализ методик прогнозирования необратимых деформаций, накапливаемых дорожными упруговязкопластическими материалами, выполнен в работе³¹. Из этой работы следует, что известные методики позволяют достоверно определять накапливаемые дорожной конструкцией пластические

деформации при вариации величины и продолжительности нагрузки в сравнительно небольшом диапазоне. Дорожное покрытие воспринимает нагрузки от разных типов транспортных средств, что обуславливает неоднократность возникновения напряжения величиной от 0,2 до 0,65 МПа и более. Поэтому для разного состава движения наилучшие результаты будут давать разные методики.

Известны методики прогнозирования необратимой деформации, справедливые для различного уровня напряжённого состояния [22,24,25,28,30,31,35,36]. Они предназначены для прогнозирования необратимой деформации, накапливаемой грунтом земляного полотна. В этих методиках земляное полотно рассматривается как полупространство, заполненное упруговязкопластическим материалом и ограниченное снизу зонами с различным уровнем напряжённого состояния. Асфальтобетонное покрытие не может рассматриваться как полупространство. Поэтому применение к данному конструктивному элементу методик³² [36] требует изменения расчётной схемы.

Следуя моделям линейно-деформируемого и упругого сжимаемого слоя [17,18], запишем формулу для определения деформации втапливания шара по завершению реализации N нагрузок:

$$h_{\partial\partial} = \psi \cdot p \cdot h_{сн} \cdot (1 - \mu^2) \cdot \left[\frac{1}{E_{\partial}} - \frac{1}{E_y} \right] \cdot (a + \beta \cdot \lg N \cdot r), \quad (13)$$

где ψ – коэффициент, учитывающий жёсткость штампа; p – давление, передаваемое зерном на покрытие, МПа; $h_{сн}$ – толщина сжимаемого слоя, м; μ – коэффициент Пуассона материала покрытия; E_{∂} и E_y – модуль деформации и модуль упругости, соответствующие продолжительности воздействия первой транспортной нагрузки, МПа; a и β – коэффициенты, определяемые опытным путём; N – количество реализованных нагрузок в пределах одной

²⁹ Хвоинский Л.А. Исследование и разработка методов обеспечения устойчивости дорожных конструкций автомобильных дорог Западной Сибири: Автореф. канд. техн. наук. Омск, 2001. 17 с.

³⁰ Александров А.С. Учет упруговязкопластических свойств связанных грунтов при проектировании дорожных одежд: Автореф. дис. канд. техн. наук. Омск, 2001. 24 с.

³¹ Христолюбов И.Н. Обеспечение сцепных качеств дорожных покрытий: Автореф. канд. техн. наук. Москва, 1988. 22 с.

³² Александров А.С. Учет упруговязкопластических свойств связанных грунтов при проектировании дорожных одежд: Автореф. дис. канд. техн. наук. Омск, 2001. 24 с.

полосы движения; r – коэффициент, учитывающий распределение проходов транспортных средств по ширине проезжей части.

Основным недостатком зависимости (13) является то, что необратимая деформация возникает при сколь угодно малом давлении и связана с последней линейной зависимостью. Следовательно, (13) даёт удовлетворительные результаты при вариации давлений в сравнительно небольшом диапазоне, в котором соблюдается пропорциональность пластической деформации и приложенного давления.

Выполненный анализ существующих методов оценки работы дорожных покрытий и срока службы поверхностной обработки показал, что эти методы, после некоторых уточнений, могут использоваться при анализе совместной работы дорожной разметки, нанесённой на шероховатое покрытие. Величину износа дорожной разметки ($\varphi_{раз}$) на шероховатых покрытиях можно определить как сумму различных разновидностей износа, являющихся следствием стирания краски с вершин зёрен каменного материала ($h_{кр}$), шлифования ($h_{ис}$) и втапливания зёрен ($h_{эм}$) этого материала:

$$\varphi_{раз} = h_{ис} + h_{эм} + h_{кр}. \quad (14)$$

Совершенно очевидно, что различные составляющие износа разметки будут не равны друг другу. Неодинаковым будет и количество нагрузок, по мере реализации которых каждая из составляющих износа разметки достигает своего максимального значения. Тогда срок службы разметки, выраженный в расчётных нагрузках, найдётся по формуле

$$N_{раз} = N_{п.о.} + N_{кр.}, \quad (15)$$

где $N_{п.о.}$ и $N_{кр.}$ – количество повторных нагрузок, необходимых на износ поверхностной обработки (каменного материала) и краски.

Из выражения (15) вытекает главное требование к совершенствованию формул (8) – (11), заключающееся в том, что до момента отрыва зёрен от материала подложки должно реализоваться как минимум $N_{раз}$ нагрузок.

ОБСУЖДЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Критический анализ исследований, результаты которых могут быть использованы для более эффективного прогнозирования функциональной долговечности горизонтальной дорожной разметки, позволяет сделать следующие выводы:

1. Прогнозирование срока службы (функциональной долговечности) горизонтальной дорожной разметки в процессе эксплуатации дороги является очень сложной задачей, т.к. более 40 факторов влияют на её долговечность.

2. При анализе зарубежных публикаций по рассматриваемому вопросу нам не встретились работы по прогнозированию функциональной долговечности горизонтальной разметки путём создания сложных математических моделей. Имеются лишь простейшие зависимости величины износа разметки от количества проходов транспортных средств. Исследования сосредоточены на результатах испытаний различных разметочных составов на разных дорожных покрытиях.

3. Попытки создать комплексную модель, позволяющую прогнозировать функциональную долговечность линий разметки, встречаются в публикациях некоторых авторов, однако с нашей точки зрения они вряд ли оправданы из-за слишком большого числа факторов, влияющих на долговечность разметки.

4. Формулы, входящие в нормативно-методические документы и позволяющие рассчитывать срок службы разметки, получены эмпирическим путём, что ограничивает область их применения условиями, в которых выполнены эксперименты. Некоторые частные математические модели имеют ошибки и другие недостатки.

5. Наиболее долговечны линии разметки, нанесённые термопластом. Расчёт срока службы этих относительно толстых слоёв (3–6 мм) базируется на классических решениях и моделях, разработанных в прошлом веке.

Избыточная толщина линий из термопласта объясняется несовершенством технологии нанесения этого разметочного материала.

6. Существенное влияние на срок службы разметки оказывает шероховатость покрытия, что недостаточно учитывается в существующих моделях.

Например, маркировочные ленты имеют хороший контакт (по всей площади) с гладкими покрытиями, а на шероховатых покрытиях контакт осуществляется не по всей площади. Поэтому срок службы этого материала на гладком покрытии существенно выше, чем на шероховатой поверхности.

Противоположная картина наблюдается при устройстве разметки красками. На шероховатом покрытии колесо автомобиля не контактирует с разметкой, расположенной во

впадинах шероховатостей. Поэтому износ разметки на гладких покрытиях должен наступать гораздо раньше, чем на шероховатой поверхности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании вышеизложенного поставлена задача разработать ряд математических моделей, позволяющих в большей мере учитывать свойства дорожного покрытия, местоположение и разновидность разметочных линий и более достоверно прогнозировать функциональную долговечность горизонтальной дорожной разметки из конкретных материалов на разных видах покрытий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Васильев А.П., Сиденко В.М. Эксплуатация автомобильных дорог и организация дорожного движения. М.: Транспорт, 1990. 303 с.
2. Романычева Т.И. Разметка дорог // Автомобильные дороги. 1980. № 3. С. 12.
3. Методические рекомендации по выбору и применению материалов для разметки автомобильных дорог. М.: Союздорнии, 2002. 28 с.
4. Методические рекомендации по нанесению дорожной разметки на цементобетонные покрытия автомобильных дорог. М.: «Информавтодор», 2004. 39 с.
5. Сиротюк В.В., Егоров О.В. Установка для плазменного напыления дорожной разметки // Вестник фонда поддержки вузовской и отраслевой дорожной науки. Омск: СибАДИ, 1995. №2. С.59-61.
6. Носов В.П., Бочкарев В.И. Моделирование условий работы материалов для дорожной разметки // Научно-технические проблемы дорожной отрасли стран СНГ. М.: МАДИ, 2000. С. 123-130.
7. Костова Н.З., Юмашев В.М. Вокруг разметки // Автомобильные дороги. 2000. № 10. С. 8-9.
8. Костова Н.З., Юмашев В.М. Разметка автомобильных дорог. М.: Союздорнии, 2000. 47 с.
9. Юмашев В.М., Костова Н.З. Новая краска для разметки автомобильных дорог // Наука и техника в дорожной отрасли. 1999. № 1. С. 22-25.
10. Юмашев В.М., Костова Н.З. Новые материалы для разметки автомобильных дорог // Тр. Союздорнии. 1999. Вып. 197. 32 с.
11. Залуга В.П. Инженерное оборудование автомобильных дорог // Автомобильные дороги. 1982. № 5. С. 72.
12. Jushkov B.S., Pugin K.G., Jushkov W.S. Application color asphalt on the basis of waste products of metallurgy as road sectoring // Bulletin PGU. «Urbanistics», Perm. 2011. № 1. pp.68-73.
13. Jushkov B.S., Burgonutdinov A.M., Jushkov W.S. Modern approaches on drawing road horizontal sectoring // Bulletin PGU. «Preservation of the environment, transport, safety of ability to live». Perm. 2011. № 1. pp.136-141.
14. Андрейкив А.Е. Разрушение квазихрупких тел с трещинами при сложном напряженном состоянии. Киев: Наук. думка, 1979. 138 с.
15. Власов В.З. Общая теория оболочек. М.: АН СССР, 1962. 528 с.
16. Власов В.З. Общая теория оболочек и ее приложения в технике. М.: Гостехиздат, 1962. 784 с.
17. Горбунов-Посадов М.И. Таблицы для расчета тонких плит на упругом основании. М.: Госстройиздат, 1959. 100 с.
18. Горбунов-Посадов М.И., Маликова Т.А., Соломин В.И. Расчет конструкций на упругом основании. М.: Стройиздат, 1984. 627 с.
19. Коренев Б.Г., Черниговская Е.М. Расчет плит на упругом основании. М.: Госстройиздат, 1962. 355 с.
20. Медников И.А. О прочности тонкого слоя на поверхности дороги. М.: МАДИ, 1974. 36 с.
21. Пастернак П.Л. Основы нового метода расчета фундаментов на упругом основании при помощи двух коэффициентов постели. М.: Стройиздат, 1954. 56 с.
22. Смирнов А.В., Малышев А.А., Агалаков Ю.А. Механика устойчивости и разрушения дорожных конструкций. Омск: СибАДИ, 1997. 91 с.
23. Синицин А.П. Расчет балок и плит на упругом основании за пределом упругости. М.: Стройиздат, 1964. 156 с.
24. Гольдштейн Н.М. Механические свойства грунтов. М.: Стройиздат, 1973. 368 с.
25. Маслов Н.Н. Механика грунтов в практике строительства. М.: Стройиздат, 1977. 320 с.
26. Паталеев А.В., Баженов С.Я. Механика грунтов, основания и фундаменты. М.: Трансжелдориздат, 1938. 314 с.
27. Бартенев Г.М. Прочность и механика разрушения полимеров. М.: Химия, 1984. 280 с.
28. Иноземцев А.А. Сопrotивление упруго-вязких материалов. Ленинград: Стройиздат, 1966. 168 с.
29. Ржаницин А.Р. Теория ползучести. М.: Стройиздат, 1968. 418 с.

30. Тер-Мартirosян З.Г. Реологические параметры грунтов и расчеты оснований сооружений. М.: Стройиздат, 1990. 200 с.

31. Эйрих Ф. Реология теория и приложения. М.: ИЛ. 824 с.

32. Абрамов Я.П. Совершенствование способа устройства шероховатых слоёв на асфальтобетонных покрытиях // Повышение качества строительства асфальтобетонных и чёрных покрытий. М.: Союздорнии, 1988. Вып. 117. С. 5-9.

33. Немчинов М.В. Проектирование и строительство дорожных покрытий с шероховатой поверхностью. М.: МАДИ, 1982. 144 с.

34. Плотнокова И.А. Эффективность применения различных вяжущих при строительстве поверхностных обработок // Повышение транспортно-эксплуатационных качеств поверхности дорожных и аэродромных покрытий. М.: Союздорнии, 1990. С. 74-83.

35. Смирнов А.В. Прикладная механика дорожных и аэродромных конструкций. Омск: СибАДИ, 1993. 128 с.

36. Александрова Н.П., Александров А.С. Пути совершенствования методик расчёта системы «дорожная одежда – земляное полотно» по остаточной деформации // Тр. СибАДИ. Омск. 2001. Вып. 19. С. 56-69.

REFERENCES

1. Vasil'ev A.P., Sidenko V.M. Ekspluatatsiya avtomobil'nykh dorog i organizatsiya dorozhnogo dvizheniya [Operation of highways and organization of traffic]. Moscow, Transport, 1990. 303 p. (in Russian)

2. Romanycheva T.I. Razmetka dorog [Road marking]. Avtomobil'nye dorogi, 1980, no 3, pp. 12. (in Russian)

3. Metodicheskie rekomendatsii po vyboru i primeniyu materialov dlya razmetki avtomobil'nykh dorog [Guidelines for the selection and use of materials for roadways marking]. Moscow, Soyuzdornii, 2002. 28 p. (in Russian)

4. Metodicheskie rekomendatsii po naneseniyu dorozhnoi razmetki na tsementobetonnye pokrytiya avtomobil'nykh dorog [Guidelines for the application of road markings on the roads cement-concrete covering]. Moscow, Informavtodor, 2004. 39 p. (in Russian)

5. Sirotyuk V.V., Egorov O.V. Ustanovka dlya plazmennogo napyleniya dorozhnoi razmetki [Installation for plasma spraying of road marking]. Vestnik fonda podderzhki vuzovskoi i otraslevoi dorozhnoi nauki, Omsk: SibADI, 1995, no 2, pp. 59-61. (in Russian)

6. Nosov V.P., Bochkarev V.I. Modelirovanie uslovii raboty materialov dlya dorozhnoi razmetki [Modeling of working conditions of materials for road marking]. Nauchno-tekhnicheskie problemy dorozhnoi otrasli stran SNG, MADI, 2000, pp. 123-130. (in Russian)

7. Kostova N.Z., Yumashev V.M. Vokrug razmetki [Around the layout]. Avtomobil'nye dorogi, 2000, no 10, pp. 8-9. (in Russian)

8. Kostova N.Z., Yumashev V.M. Razmetka avtomobil'nykh dorog [Roads marking]. Moscow, Soyuzdornii, 2000. 47 p. (in Russian)

9. Yumashev V.M., Kostova N.Z. Novaya kraska dlya razmetki avtomobil'nykh dorog [New paint for road marking]. Nauka i tekhnika v dorozhnoi otrasli, 1999, no 1, pp. 22-25. (in Russian)

10. Yumashev V.M., Kostova N.Z. Novye materialy dlya razmetki avtomobil'nykh dorog [New materials for road marking]. Tr. Soyuzdornii, 1999, Vyp. 197, 32 p. (in Russian)

11. Zaluga V.P. Inzhenernoe oborudovanie avtomobil'nykh dorog [Engineering equipment of the roads]. Avtomobil'nye dorogi, 1982, no 5, pp. 72. (in Russian)

12. Jushkov B.S., Pugin K.G., Jushkov W.S. Application color asphalt on the basis of waste products of met-allurgy as road sectoring. Bulletin PGTU, 2011, no 1, pp.68-73.

13. Jushkov B.S., Burgonutdinov A.M., Jushkov W.S. Modern approaches on drawing road horizontal sectoring. Bulletin PGTU, 2011, no 1, pp.136-141.

14. Andreikiv A.E. Razrushenie kvazikhрупких tel s treshchinami pri slozhnom napryazhennom sostoyanii [Destruction of quasi-brittle bodies with cracks in a complex stress state]. Kiev: Nauk. dumka, 1979. 138 p. (in Russian)

15. Vlasov V.Z. Obshchaya teoriya obolochek [General theory of shells]. Moscow, AN SSSR, 1962. 528 p. (in Russian)

16. Vlasov V.Z. Obshchaya teoriya obolochek i ee prilozheniya v tekhnike [General theory of shells and its applications in engineering]. Moscow, Gostekhzdat, 1962. 784 p. (in Russian)

17. Gorbunov-Posadov M.I. Tablitsy dlya rascheta tonkikh plit na uprugom osnovanii [Tables for the calculation of thin plates on an elastic base]. Moscow, Gosstroizdat, 1959. 100 p. (in Russian)

18. Gorbunov-Posadov M.I., Malikova T.A., Solomin V.I. Raschet konstruktсии na uprugom osnovanii [Analysis of the structures on elastic foundation]. Moscow, Stroizdat, 1984. 627 p. (in Russian)

19. Korenev B.G., Chernigovskaya E.M. Raschet plit na uprugom osnovanii [Analysis of

plates on elastic Foundation]. Moscow, Gostroiizdat, 1962. 355 p. (in Russian)

20. Mednikov I.A. O prochnosti tonkogo sloya na poverkhnosti dorogi [On the strength of the thin layer on the surface of the road]. Moscow, MADI, 1974. 36 p. (in Russian)

21. Pasternak P.L. Osnovy novogo metoda rascheta fundamentov na uprugom osnovanii pri pomoshchi dvukh koeffitsientov posteli [Bases of a new method of calculation of the bases on the elastic basis by means of two coefficients of a bed]. Moscow, Stroiizdat, 1954. 56 p. (in Russian)

22. Smirnov A.V., Malyshev A.A., Agalakov Yu.A. Mekhanika ustoichivosti i razrusheniya dorozhnykh kon-struksii [Mechanics of stability and blow-up-pavements structures]. Omsk: SibADI, 1997. 91 p. (in Russian)

23. Sinitsin A.P. Raschet balok i plit na uprugom osnovanii za predelom uprugosti [Calculation of beams and plates on an elastic base beyond the elastic limit]. Moscow, Stroiizdat, 1964. 156 p. (in Russian)

24. Gol'dshtein N.M. Mekhanicheskie svoistva gruntov [Mechanical properties of soils]. Moscow, Stroiizdat, 1973. 368 p. (in Russian)

25. Maslov N.N. Mekhanika gruntov v praktike stroitel'stva [Soil mechanics in the practice of construction]. Moscow, Stroiizdat, 1977. 320 p. (in Russian)

26. Pataleev A.V., Bazhenkov S.Ya. Mekhanika gruntov, osnovaniya i fundamenty [Soil mechanics, bases and foundations]. Moscow, Transzhel-dorizdat, 1938. 314 p. (in Russian)

27. Bartenev G.M. Prochnost' i mekhanika razrusheniya polimerov [Strength and fracture mechanics of polymers]. Moscow, Khimiya, 1984. 280 p. (in Russian)

28. Inozemtsev A.A. Soprotivlenie uprugogo-vyazkikh materialov [Resistance of elastic-viscous materials]. Leningrad: Stroiizdat, 1966. 168 p. (in Russian)

29. Rzhaniitsin A.R. Teoriya polzuchesti [Creep theory]. Moscow, Stroiizdat, 1968. 418 p. (in Russian)

30. Ter-Martirosyan Z.G. Reologicheskie parametry gruntov i raschety osnovanii sooruzhenii [Rheological parameters of soils and calculations of soil conditions]. Moscow, Stroiizdat, 1990. 200 p. (in Russian)

31. Eirikh F. Reologiya teoriya i prilozheniya [Rheology theory and applications]. Moscow IL. 824 p. (in Russian)

32. Abramov Ya.P. Sovershenstvovanie sposoba ustroystva sherokhovatykh sloev na asfal'tobetonnykh pokrytyakh [Improvement of the device layers on a rough asphalt pavements. Im-

provement of construction quality of asphalt and black in indoor]. Povyshenie kachestva stroitel'stva asfal'tobetonnykh i chernykh pokrytii, Moscow, Soyuzdornii, 1988, Vyp. 117, pp. 5-9. (in Russian)

33. Nemchinov M.V. Proektirovanie i stroitel'stvo dorozhnykh pokrytii s sherokhovatoi poverkhnost'yu [Design and construction of road surfaces with rough under-surface]. Moscow, MADI, 1982. 144 p. (in Russian)

34. Plotnikova I.A. Effektivnost' primeneniya razlichnykh vyazhushchikh pri stroitel'stve poverkhnostnykh obrabotok [Application efficiency of the various binders in the construction of surface treatments]. Povyshenie transportno-ekspluatatsionnykh kachestv poverkhnosti dorozhnykh i aerodromnykh pokrytii, Moscow, Soyuzdornii, 1990. pp. 74-83. (in Russian)

35. Smirnov A.V. Prikladnaya mekhanika dorozhnykh i aerodromnykh konstruksii [Applied mechanics of road and airport structures]. Omsk: SibADI, 1993. 128 p. (in Russian)

36. Aleksandrova N.P., Aleksandrov A.S. Puti sovershenstvovaniya metodik rascheta sistemy «dorozhnaya odezhda – zemlyanoe polотно» po ostatochnoi deformatsii [Ways of improvement of calculation methods of the system “road pavement – subgrade” on residual deformation]. Tr. SibADI, Omsk. 2001, Vyp. 19, pp. 56-69. (in Russian)

Поступила 20.04.2018, принята к публикации 20.08.2018.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Голубенко Владимир Владимирович (Омск, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Проектирование дорог» ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, email: v-golubenko@yandex.ru).

Александров Анатолий Сергеевич (Омск, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительство и эксплуатация дорог» ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, email: nata26.74@mail.ru).

Сиротюк Виктор Владимирович (Омск, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры «Проектирование дорог» ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет» (644008, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: sirvv@yandex.ru).

INFORMATION ABOUT THE AUTORS

Golubenko Vladimir (Omsk, Russia) – candidate of technical science, Associate Professor of the Roads Designing Department, Siberian State Automobile and Road University (644080, Omsk, 5, Mira Ave., email: v-golubenko@yandex.ru).

Aleksandrov Anatoliy (Omsk, Russia) – candidate of technical science, Associate Professor of the Construction and Operation Department, Siberian State Automobile and Road University (644080, Omsk, 5, Mira Ave., e-mail: nata26.74@mail.ru).

Sirotyuk Victor (Omsk, Russian Federation) – doctor of technical science, Professor of the Roads Designing Department, Siberian State Automobile and Road University (644008, Omsk, 5, Mira Ave., e-mail: sirvv@yandex.ru).

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Голубенко В.В. Сбор материалов по теме исследования, написание статьи.

Александров А.С. Сбор и критический анализ источников, формулировка выводов и дальнейших задач исследования.

Сиротюк В.В. Формулировка цели, метод исследования, написание, редактирование и оформление статьи.

AUTHOR CONTRIBUTION

Golubenko Vladimir. Collecting materials on the research topic, writing an article.

Aleksandrov Anatoliy. Collection and critical analysis of sources, formulation of conclusions and further research objectives.

Sirotyuk Victor. Purpose formulation, research method's formulation, writing, editing and compiling of the article.