

Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и тоннелей

УДК 625.72

DOI 10.23968/1999-5571-2023-20-6-100-109

© Е. М. Жуковский, аспирант
(Белорусский национальный технический
университет, Минск, Республика Беларусь)
E-mail: zhukovskye@gmail.com

© Ya. M. Zhukouski, post-graduate student
(Belarusian National Technical University,
Minsk, Republic of Belarus)
E-mail: zhukovskye@gmail.com

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НЕЖЕСТКИХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД ДЛЯ ОЦЕНКИ ИХ ЭФФЕКТИВНОСТИ В СОВРЕМЕННОЙ ПРАКТИКЕ

ANALYTICAL REVIEW OF DESIGN METHODS FOR NON-RIGID ROAD PAVEMENTS TO ASSESS THEIR EFFICIENCY IN MODERN PRACTICE

Опыт эксплуатации дорожных одежд показывает их неравномерное разрушение: большему разрушению подвергаются края проезжей части, поэтому возникает необходимость повышения долговечности и сроков службы дорожных одежд по всей ширине проезжей части. Проведенный анализ отечественного и зарубежного опыта проектирования нежестких дорожных одежд показал, что на сегодняшний день актуальным вопросом является проектирование долговечных дорожных конструкций, которые смогут воспринимать нагрузки с учетом реального воздействия. Доказано, что применяемые методики недостаточны и нуждаются в дальнейшем совершенствовании. Сформулированы основные задачи по разработке способов проектирования и конструирования нежестких дорожных одежд с переменной прочностью по ширине проезжей части.

Ключевые слова: дорожная одежда, долговечность, разрушение, разнопрочные дорожные одежды, нежесткие дорожные одежды, проектирование дорожных одежд.

Experience in the operation of road pavements shows their uneven damage: the edges of the roadway are subjected to greater damage, so there emerges a need to increase the durability and service life of road pavements across the entire width of the roadway. The analysis of domestic and foreign experience in the design of non-rigid road pavements shows that today the pressing issue is the design of durable road structures that can withstand loads taking into account their real impact. It is substantiated that the methods currently used are insufficient and need further improvement. The main tasks for developing methods for designing and constructing non-rigid road pavements with variable strength across the width of the roadway are formulated.

Keywords: road pavement, durability, damage, multi-strength pavement, non-rigid road pavement, road pavement design.

Введение

К факторам, которые определяют различие в условиях работы конструкций дорожных одежд по ширине проезжей части, относят воздействия транспортной нагрузки, а также погодно-климатического и геолого-гидрологического характера. Основным же фактором является воздействие транспортной нагрузки [1].

Эксплуатация автомобильных дорог подразумевает движение транспортно-го потока, различного по своему составу. Автотранспорт имеет разные параметры и характеристики, что приводит к различным воздействиям на дорожные одежды. Для уменьшения трудозатрат при проектировании и конструировании дорожных одежд в практике используется понятие

расчетного автомобиля (расчетной нагрузки).

В настоящее время Правила дорожного движения Республики Беларусь¹ запрещают занимать левые полосы при свободных правых. Если полос движения три и более, то по левой полосе разрешено только опережение. Это приводит к тому, что первая полоса намного больше загружена транспортом и подвержена преждевременному разрушению. Ресурс левых полос при этом значителен, так как их конструкция аналогична конструкции первой полосы.

Таким образом, ключевым фактором, определяющим различие в условиях работы конструкции дорожной одежды по ширине проезжей части, является воздействие транспортной нагрузки, а точнее состав и распределение транспортного потока по ширине проезжей части (полосам движения автомобильных дорог).

В качестве воздействий погодно-климатического и геолого-гидрологического характера понимают главным образом влагонакопление и промерзание дорожной конструкции. Кроме того, такие факторы влияют на водно-тепловой режим грунтов земляного полотна и, следовательно, на устойчивость дорожной конструкции (земляного полотна и дорожной одежды).

Характеристики грунтов земляного полотна и несвязных материалов конструктивных слоев дорожных одежд существенно зависят от их влажности. Особую роль играет повышенная влажность (выше оптимальной) [2]: во-первых, она играет роль смазки между частицами, а во-вторых, большое количество воды между частицами, согласно закону Паскаля, способствует разуплотнению массива грунта под приложенной нагрузкой.

¹ О мерах по повышению безопасности дорожного движения: Указ Президента Респ. Беларусь, 28 нояб. 2005 г., № 551 : в ред. Указа Президента Респ. Беларусь от 18.04.2022 г., № 145 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь; Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. Минск, 2022.

Кроме того, в грунтах под действием динамической и вибрационной нагрузки от транспорта изменяются его свойства. Так, в песчаных грунтах снижается коэффициент внутреннего трения и уменьшается угол естественного откоса, а в глинистых наблюдается тиксотропное разжижение. Явление тиксотропии характерно для коллоидных систем, состоящих из дисперсной фазы (частицы грунта) и дисперсионной среды (воды), и тесно связано с влажностью грунта. Тиксотропия грунтов характерна для глинистых грунтов, однако, по данным Приклонского В. А., она наблюдается и в песках при содержании таких частиц от 1,5 % [3].

При наличии неблагоприятных грунтовых условий (пучинистые грунты земляного полотна) необходимо обеспечивать достаточную морозоустойчивость дорожных одежд для защиты таких грунтов от промерзания. Процесс пучинообразования тесно связан с влагонакоплением в грунте и его последующим замерзанием. В процессе пучинообразования грунт значительно увеличивает свой объем по отношению к первоначальному и вызывает снижение ровности дорожных одежд и их разрушение, которое усугубляется под воздействием транспорта.

Таким образом, наибольшее влияние на различие работы конструкции дорожной одежды по ширине проезжей части оказывает совместное воздействие транспортной нагрузки, погодно-климатических и геолого-гидрологических факторов, распределяющихся неравномерно по ширине дорожного полотна. Причем интенсивность их воздействия от бровки обочины до оси дороги снижается.

Первые исследования при проектировании нежестких дорожных одежд

Проектирование дорожных одежд, в том числе и нежестких, является весьма сложным процессом. При проектировании необходимо учитывать множество факторов,

которые не связаны между собой и проявляются в синергии.

Разработка математической модели, которая бы позволила связать все процессы воздействия описанных выше факторов, невозможна по причине сложности их прогнозирования. Таким образом, пользуясь только аппаратом теории упругости, произвести расчет дорожных одежд не представляется возможным. Поэтому в настоящее время наибольшее распространение при проектировании получили механико-эмпирические (полуэмпирические) методы. В данном случае при анализе напряженно-деформированного состояния используются методы теории упругости, а также эмпирические зависимости между напряжениями и деформациями с параметрами внешней нагрузки. Особенностью проектирования дорожных одежд является назначение критериев эксплуатационных характеристик на конец расчетного срока службы [4].

Впервые необходимость учета влияния воды на грунт при устройстве дорожных одежд была обоснована в XIX в. в начале строительства щебеночных покрытий. Джон Макадам считал, что грунт может выдержать любую нагрузку, если он защищен от переувлажнения. Основным принципом таких дорожных одежд было создание плотной «щебеночной коры», защищавшей нижележащий грунт от поступления влаги. Значительный вклад в улучшение щебеночных покрытий был произведен во Франции, в частности в работах Антуана Реми Полонсо. Толщина слоя покрытия таких дорожных одежд определялась исходя из несущей способности грунта, прочности щебня и возможности его уплотнения [5].

Первые попытки учета влияния климата и действия колесной нагрузки при проектировании дорожных одежд в отечественной практике были предприняты Е. С. Головачевым во второй половине XIX в. [6]. Они включали в себя рекомендации по продол-

жительности возведения земляного полотна различной высоты в различных климатических условиях, требования к минимальным высотам насыпей для различных грунтов в зависимости от его уплотнения, рекомендации по выбору материалов для щебеночного покрытия от действия недвигающегося колеса. Толщину слоя было предложено определять, корректируя стандартную толщину с учетом фактической пористости применяемого каменного материала. Данные попытки были основаны на опыте наблюдения за устроенными в Российской империи дорогами и носят эмпирический характер.

Методы проектирования дорожных одежд, используемые в начале XX в., были также основаны на несущей способности грунтов земляного полотна, например, методики Харджера, Массачусетская, Доунса, А. И. Анохина, Бугаева и др.² Основное допущение данных методов заключается в том, что давление передается равномерно под углом 45° от неподвижного колеса без учета интенсивности движения. Данные методики носили строго эмпирический характер и были разработаны для конкретных условий строительства и эксплуатации дорог. При этом Г. Д. Дубелир [7] считал в целом невозможным расчет на прочность дорожных одежд, а основным критерием выбора толщины назначался экономический.

Отечественный опыт проектирования нежестких дорожных одежд

Впервые необходимость учета интенсивности движения была обоснована в СССР в 1929 г. Н. Н. Ивановым и поддержана инженерами из Германии и США [8]. В дальнейшем, в результате исследований, проведенных в СССР в 1930–1940 гг. под руководством Н. Н. Иванова, была разработана методика проектирования нежестких дорожных одежд, отличительная особенность которой — учет состава и напряженности

² Анохин А. И. и др. Дорожное дело: учеб. руководство для автомоб.-дор. ВТУЗов. М.; Л.: Гострансиздат, 1933. 747 с.

движения на дороге, влияния климата и гидрологических условий, требований к ровности дороги, характеристик подстилающих слоев³. Расчет конструкций по данной методике осуществлялся по допускаемому прогибу на поверхности дорожной одежды на основании модуля деформации.

Данная методика получила свое развитие и в последующем неоднократно уточнялась и дополнялась в Инструкциях по проектированию дорожных одежд нежесткого типа^{4,5,6,7}. Значительный вклад в развитие методики проектирования нежестких дорожных одежд внесли А. М. Кривисский, М. Б. Корсунский, П. И. Теляев, П. Д. Россовский, Н. А. Пузаков, Ю. М. Васильев, В. Ф. Бабков, П. В. Горелышев, В. Д. Казарновский и др. Так, с 1973 г. основным критерием проектирования дорожных одежд, вместо допускаемой деформации, является упругий прогиб дорожной конструкции. Кроме того, были уточнены и дополнены принципы учета интенсивности и распределения транспортного потока.

С ростом автомобилизации возникла необходимость строительства многополосных дорог. Опыт наблюдения за ними показал, что их эксплуатационное состояние различается по полосам движения. По результатам исследований, проведенных в 1970-е годы в БелдорНИИ, было установлено, что остаточная прочность первой полосы меньше, чем второй. На основании этих исследований разработаны конструкции дорожных одежд с различной прочностью по ширине проез-

жей части [9]. В нормативной документации СССР это отразилось в 1983 г. после введения Инструкции по проектированию дорожных одежд нежесткого типа (ВСН 46-82)⁷ включением в методику определения требуемого модуля упругости коэффициента, учитывающего распределение транспортных средств по полосам движения $f_{пол}$. Однако данные конструкции должного распространения не получили по причине отсутствия методики их проектирования и сложности в их строительстве.

В последующем положения методики, предложенной ВСН 46-82, получили развитие в национальных документах Беларуси, Украины, России, Казахстана, Узбекистана и др.^{8,9,10,11,12}

Решения по устройству дорожных одежд с различной прочностью по ширине проезжей части предусматривали, как правило, устройство разных конструкций на полосах движения с уступами. Однако такие решения должного распространения не получили по причине сложности в их строительстве, невозможности обеспечения должного качества уплотнения конструктивных слоев, а также повышенной неоднородности дорожной одежды по прочности.

Влияние неоднородности дорожной одежды по прочности показано в работах И. А. Золотаря¹³, С. В. Семенова, Е. В. Угловой, А. Н. Тиратурияна и др. [10–12]. Так, И. А. Золотарем показано, что на срок службы дорожных одежд, кроме прочности,

³ Иванов Н. Н. Выбор конструкций дорожных одежд (Теория прочности и методы расчета); под ред. Н. Н. Иванова, А. М. Кривиского; НКВД СССР, Гл. упр. шоссейных дорог «ДорНИИ». М.: Дориздат, 1943. 68 с.

⁴ Инструкция по назначению конструкций дорожных одежд нежесткого типа: ВИ 103-57. Введ. 01.07.1957; Главдорстрой СССР. М.: Научно-техническое изд-во автотранспортной литературы, 1957. 70 с.

⁵ Инструкция по назначению конструкций дорожных одежд нежесткого типа: ВСН 46-60. Введ. 01.01.1961; Министерство транспортного строительства СССР. М.: Автотрансиздат, 1961. 78 с.

⁶ Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа: ВСН 46-72. Введ. 10.07.1972. М.: Транспорт, 1973. 83 с.

⁷ Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа: ВСН 46-83. Введ. 29.04.1983. Минтрансстрой СССР. М.: Транспорт, 1985. 157 с.

⁸ Автомобильные дороги. Нежесткие дорожные одежды. Правила проектирования: ТКП 45-3.03-112-2008 (02250). Минск, 2008. 114 с.

⁹ Автомобільні дороги. Дорожній одяг нежорсткий. Проектування: ГБН В.2.3-37641918-559:2019. Київ, 2019. 59 с.

¹⁰ Дороги автомобильные общего пользования. Нежесткие дорожные одежды. Правила проектирования: ПНСТ 542-2021. М., 2021. 146 с.

¹¹ Проектирование дорожных одежд нежесткого типа: СП РК 3.03-104-2014. Астана, 2014. 83 с.

¹² Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа: МКН 46-2008. Ташкент: Автотранспортный научно-исследовательский институт ГАК «Узавтоул», 1973. 245 с.

¹³ Повышение надежности автомобильных дорог; под ред. И. А. Золотаря. М.: Транспорт, 1977. 183 с.

существенно влияет и коэффициент ее вариации. Данный вывод подтвержден и С. В. Семеновым, согласно которому при изменении коэффициента вариации по прочности дорожной одежды с 0,15 до 0,10 срок службы возрастает с 6 до 9 лет. Сегодня к однородности дорожных одежд по прочности предъявляются повышенные требования, в связи с чем разработаны методики ее контроля и оценки на стадии проектирования и эксплуатации дорожных одежд.

Также одним из негативных факторов применения данных конструктивных решений является пониженная усталостная долговечность левых полос движения вследствие уменьшения их толщины. Так, в работах Е. В. Угловой, М. А. Николенко, С. К. Илиополова показано, что при увеличении скорости движения транспорта увеличиваются растягивающие напряжения в монолитных слоях. Это вызывается существенными динамическими воздействиями легковых автомобилей на дорожную одежду [13–15], поэтому применение таких конструктивных решений крайне нежелательно, хотя и возможно.

Совершенствованию методов проектирования и конструирования нежестких дорожных одежд в Республике Беларусь посвящены работы В. А. Веренько, В. Н. Яромко¹⁴, В. В. Штабинского¹⁵ и др. [16–19].

До 2008 г. основными критериями расчета дорожных одежд было принято: для дорожной одежды в целом — упругий прогиб, осушение, морозоустойчивость; для покрытий — растяжение при изгибе монолитных слоев, сдвигоустойчивость; по учету интенсивности движения — среднесуточная. При этом были введены новые критерии расчета нежестких

дорожных одежд: для покрытий — температурная трещиностойкость, накопление остаточных деформаций (колеобразование), сдвиг; для слоев основания — сдвиг, накопление остаточных деформаций; для земляного полотна — сдвиг, накопление остаточных деформаций; по учету интенсивности — суммарная интенсивность за срок службы [17].

В качестве основного критерия для расчета дорожных конструкций В. Н. Яромко предлагалось ввести показатель ровности¹⁴, однако из-за недостаточной разработанности метода он не был включен в итоговый вариант ТКП 45-3.03-112-2008.

В настоящее время согласно нормам⁸ приняты следующие этапы проектирования и расчета нежестких дорожных одежд:

- расчет дорожных одежд на прочность (основной расчет по допускаемому упругому прогибу);
- проектирование устройств по осушению дорожных одежд;
- обеспечение морозоустойчивости дорожных одежд и земляного полотна.

Учет транспортной нагрузки, ее интенсивности и величины осуществляется на этапе расчета по величине допускаемого упругого прогиба, который напрямую связан с модулем упругости на поверхности дорожной одежды.

Из документа⁸ видно, что вопросы погодного-климатического и гидрогеологического воздействия не учтены в расчете на прочность нежестких дорожных одежд. Однако В. А. Веренько предложена методика оценки устойчивости материала монолитных слоев на совместное действие транспортной нагрузки и погодного-климатических факторов [19].

В последние годы в Республике Беларусь, в частности В. В. Штабинским¹⁵, проведены исследования по использованию геосинтетических материалов при устройстве дорожных одежд и разработаны конструкции с их применением [18].

¹⁴ Яромко В. Н. Отечественный и зарубежный опыт конструирования и расчета дорожных одежд нежесткого типа: обзор. информ. Минск: БелдорНИИ, 2007. 65 с.

¹⁵ Штабинский В. В. О применении геосинтетических материалов в строительстве; Республиканское дочернее унитарное предприятие «Белорусский дорожный научно-исследовательский институт «БелдорНИИ» // Геотехника Беларуси: наука и практика. Ч. 2. С. 333–340. Минск, 2013.

В Российской Федерации, Украине, Узбекистане, Казахстане и других странах, как и в Беларуси, правила проектирования нежестких дорожных одежд основаны на работах профессора Н. Н. Иванова, поэтому существенные отличия в их проектировании отсутствуют. Основное отличие заключается в особенностях дорожно-климатического районирования, а также в значениях коэффициентов, учитывающих распределение транспортных средств по полосам движения $f_{пол}$. Так, в Республике Беларусь коэффициенты распределения транспортной нагрузки на первые полосы движения несколько занижены по сравнению с другими странами. Причем это особенно заметно на дорогах с шестью полосами движения.

Зарубежный опыт проектирования дорожных одежд

В Германии для проектирования нежестких дорожных одежд используют метод RStO12¹⁶, который методологически родственен отечественному методу.

Толщина дорожной конструкции определяется так, чтобы была обеспечена усталостная прочность от воздействия транспорта и погодных условий в течение планируемого периода эксплуатации, а также ее достаточная морозостойкость.

Типовая конструкция выбирается по суммарному количеству приложений расчетной нагрузки массой 10 т. Суммарное количество приложений расчетной нагрузки определяется в зависимости от срока службы дороги, среднесуточной интенсивности грузового транспортного средства с учетом ее прироста, а также числа и ширины полос движения. Особенность данной методики — учет величины продольного уклона при определении суммарного количества приложений транспортной нагрузки.

При проектировании требуется обеспечить модуль деформации на поверхности земляного полотна не менее 45 МПа, а на поверхности нижнего слоя основания — 120 МПа.

Данная методика не учитывает распределение транспортных средств по полосам движения и обеспечивает проектирование одинаковой конструкции по всей ширине проезжей части. Погодно-климатические и геолого-гидрологические условия не участвуют при выборе конструкции дорожной одежды, при их отличии от стандартных производится корректировка толщины морозозащитного слоя.

Метод RStO12 разработан только для условий Германии и неприменим для других государств. Однако в Польше разработана схожая методология¹⁷ проектирования нежестких дорожных одежд.

В Соединенных Штатах Америки для проектирования нежестких дорожных одежд применяют стандарт AASHTO 1993¹⁸, который основан на исследованиях, проведенных AASHO с 1958 по 1960 гг. В зависимости от штата в стандарте могут быть установлены свои региональные особенности^{19, 20, 21}.

Основным критерием выбора общей толщины дорожной одежды является требуемое структурное число SNR (Structural Number Required), которое назначается исходя из суммарной нагрузки на одну ось, эквивалентную 18 тыс. фунтов (8,2 тонны на ось) (эквивалентная одиночная осевая нагрузка ESAL — Equivalent Single Axle Loads), модуля упругости грунтов земляного полотна

¹⁷ Katalog typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych. Warszawa : Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad, 2014. 112 p.

¹⁸ AASHO. Guide for Design of Pavement Structures // American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington, DC. 1993.

¹⁹ Pavement design manual. Phoenix: Arizona department of transportation, 2017. 71 p.

²⁰ Facilities Development Manual. Chapter 14-10 Pavement design. Madison: Wisconsin Department of Transportation, 2020. 14 p.

²¹ Flexible pavement design manual. Tallahassee: Florida Department of Transportation, 2018. 148 p.

¹⁶ Neuerungen im Vorschriftenwerk. RStO12. Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen. Ausgabe, 2012. 48 c.

и коэффициента надежности. Затем, исходя из свойств материалов конструктивных слоев, подбирают такое их соотношение, при котором достигается требуемое структурное число дорожной одежды.

По данной методике проектируются дорожные конструкции с одинаковой прочностью по ширине проезжей части. Учет погодноклиматических и геолого-гидрологических факторов при расчете на прочность не осуществляется, они учитываются только при определении модуля упругости грунта земляного полотна. При проектировании дорожных конструкций необходимо обеспечить минимальное структурное число SN и минимальную толщину асфальтобетонного слоя.

К недостаткам данного метода можно отнести его низкую достоверность в узких условиях эксплуатации. Кроме того, при стандартном подходе дорожная конструкция может состоять только из трех слоев, но на усмотрение проектировщика их число может быть увеличено.

Данный метод является довольно популярным и широко применяется в различных странах, в том числе Канаде^{22,23}, Объединенных Арабских Эмиратах²⁴, Колумбии²⁵.

В 2006 г. Американская ассоциация служащих государственных дорог и транспорта AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) с целью устранения недостатков предыдущего стандарта AASHTO 1993 выпустила Практическое руководство по механико-эмпирическому проектированию дорожных

покрытий MEPDG (Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide)²⁶.

Метод MEPDG включает в себя множество различных факторов, которые учитываются при проектировании нежестких дорожных одежд, в том числе интенсивность движения, нелинейность материалов конструктивных слоев и почасовую информацию об изменении погодных условий.

При проектировании по данной методике проектировщик предварительно задается конструкцией дорожной одежды, а затем с использованием специального программного комплекса проверяет ее на соответствие требованиям транспортно-эксплуатационного состояния на конец расчетного срока службы. Постепенно варьируя толщину слоев, выбирают наиболее экономически выгодную конструкцию.

В Великобритании^{27,28} проектирование нежестких дорожных покрытий основывается на несущей способности грунта земляного полотна, которая характеризуется калифорнийским числом CBR (California bearing ratio). Толщина слоев подбирается в зависимости от приведенной интенсивности движения для обеспечения требуемых значений CBR.

Данная методика широко распространена в странах Содружества наций и бывших британских территорий, в частности Австралии²⁹, Новой Зеландии³⁰, Бангладеш³¹, Шри-Ланке³² и др.³³.

²⁶ Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide: MEPDG-1. Washington, DC: American Association of State Highway and Transportation Officials, 2008. 218 p.

²⁷ Pavement design and construction Guide for Estate Roads. Norwich : Norfolk Partnership Laboratory, 2022. 61 p.

²⁸ Road Pavement Design Guide. Maidstone : Kent County Council, 2000. 54 p.

²⁹ Manual of Engineering Standards. Maitland : Maitland City Council, 2020. 154 p.

³⁰ New Zealand supplement to the document, Pavement Design – A Guide to the Structural Design of Road Pavements. Wellington : Transit New Zealand, 2007. 44 p.

³¹ Pavement Design Guide for Roads & Highways Department. Dhaka : Government of the People's Republic of Bangladesh. Ministry of Communications. Roads and Railways Division, 2005. 12 p.

³² Road Development Authority. URL: <https://www.rnd.rda.gov.lk/geotechnical-road-pavement-design/> (дата обращения: 04.10.2022).

³³ Pavement design manual. Hargeysa: Roads development agency, 2014. 298 p.

²² Pavement Design and Rehabilitation Guideline. Second edition. Toronto : Infrastructure Asset Management & Programming, 2019. 104 p.

²³ Pavement design and rehabilitation manual. Second edition. Downsview: Materials Engineering and Research Office Ministry of Transportation, 2013. 466 p.

²⁴ Pavement design manual: Document TR-513. Abu Dhabi, Department of Municipal Affairs and Transport, 2021. 266 p.

²⁵ Poveda Sierra, C.A. Diseño de estructuras de pavimento flexible y rígido sobre la malla vial del SITP en la localidad de Tunjuelito Calle 55 Sur entre Carreras 19A y 19B con estabilización de subrasante incluyendo material tipo rajón. Bogotá: Universidad militar Nueva Granada, 2020. 58 p.

Выводы

Анализ методик проектирования нежестких дорожных одежд как отечественных, так и западных показывает, что вопросы погодноклиматического и геолого-гидрологического воздействия учитываются при проектировании косвенно: эти воздействия не участвуют в расчете на прочность дорожной одежды, а дренажные и морозозащитные слои назначаются конструктивно. Возможность проектирования разнопрочных дорожных одежд закреплена только в отечественных методиках. Таким образом, это свидетельствует о необходимости дальнейшего совершенствования существующей методики проектирования нежестких дорожных одежд.

Анализ существующего состояния проектирования нежестких дорожных одежд показывает, что на сегодняшний день актуальным вопросом является проектирование долговечных дорожных конструкций, которые смогут воспринимать нагрузки с учетом их реального воздействия: различия в интенсивности и напряженности транспортного потока по полосам движения, неравномерности воздействия погодноклиматических и геолого-гидрологических факторов.

Наряду с определенными достижениями в данной области существует ряд задач, решение которых позволит достичь поставленной цели исследования. По нашему мнению, необходимо следующее:

- провести детальную диагностику состояния дорожных покрытий по ширине проезжей части в зависимости от интенсивности движения, гидрогеологических условий, срока службы покрытий и др.;
- исследовать особенности напряженно-деформированного состояния дорожной конструкции по ее ширине;
- установить закономерности изменения транспортно-эксплуатационного состояния автомобильной дороги по ширине проезжей части в зависимости от величины транспортной нагрузки, воздействий погоднок-

лиматического и геолого-гидрологического характера;

- на основании установленных зависимостей разработать методику учета указанных факторов при расчете на прочность нежестких дорожных одежд;
- разработать способы проектирования и конструирования нежестких дорожных одежд с переменной прочностью по ширине проезжей части;
- провести промышленную проверку полученных результатов исследований, определить их технико-экономическую эффективность и разработать практические рекомендации по их внедрению.

Библиографический список

1. Жуковский Е. М. Методика проектирования и конструирования нежестких дорожных одежд с различной прочностью по ширине проезжей части // Вестник гражданских инженеров. 2022. № 6 (95). С. 125–133. DOI 10.23968/1999-5571-2022-19-6-125-133.
2. Бабков В. Ф., Безрук В. М. Основы грунтоведения и механики грунтов. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1986. 238 с.
3. Приклонский В. А. Грунтоведение. Изд. 3-е, перераб. и доп. М.: Госгеолтехиздат, 1955.
4. Арус Н. Н., Горячев М. Г. Обзор и анализ методов проектирования нежестких дорожных одежд для оценки их эффективности в современной международной практике // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2021. № 3 (29). URL: <https://www.adi-madi.ru/madi/article/view/1032>
5. Ковалев Я. Н. Введение в инженерное образование. Автомобильные дороги. Минск: Арт Дизайн, 2010. 239 с.
6. Головачев С. Е. Об устройстве земских дорог и отношении их к железным путям для развития производительности России. Киев: Тип. И. и А. Давиденко, 1870. 200 с.
7. Дубелир Г. Д., Захаров Г. Ф., Тиль Б. И. Эксплуатация автогужевых дорог. Л.: Гострансиздат, 1934. 478 с.
8. Иванов Н. Н. К вопросу о выборе и определении толщины дорожных одежд // Транспорт и дороги города. 1936. № 4. С. 17–20.
9. Тришин Г. Г., Порицкий Р. З., Корюков В. П. Прочность многополосных дорог // Автомобильные дороги. 1978. № 9. С. 22–23.
10. Семенов С. В. Качество и однородность автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1989. 125 с.

11. Углова Е. В., Тиратуриян А. Н., Ляпин А. А. Комплексный подход к исследованию характеристик динамического деформирования на поверхности нежестких дорожных одежд с использованием методов неразрушающего контроля // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. 2016. № 2. С. 111–130.

12. Тиратуриян А. Н., Акулов В. В., Лобов И. В. Оценка однородности как элемент контроля качества устройства дорожной одежды // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. 2018. Т. 1. С. 203–206.

13. Николенко М. А. Учет особенностей нагружения полос движения автомагистралей при проектировании дорожных одежд : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.11. Ростов-на-Дону, 2006. 185 с.

14. Илиополов С. К., Углова Е. В., Николенко М. А. НДС дорожных конструкций с жесткими слоями оснований // Строительство-2002: материалы Междунар. науч.-практ. конф. РГСУ. Ростов н/Д, 2002. 146 с.

15. Углова Е. В., Николенко М. А. Влияние массы транспортных средств на уровень динамического воздействия на дорожную // Строительство-2004: материалы Междунар. науч.-практ. конф. РГСУ. Ростов н/Д, 2004.

16. Яромко В. Н. О расчете суммарной интенсивности движения при проектировании дорожных одежд // Автомобильные дороги и мосты. 2016. № 2. С. 17–19.

17. Яромко В. И. О совершенствовании методов расчета нежестких дорожных одежд // Строительная наука и техника. 2007. № 2. С. 25–32.

18. Штабинский В. В. К вопросу назначения конструкций асфальтобетонных покрытий с прослойками из армирующих геосинтетических материалов // Автомобильные дороги и мосты. 2015. № 2. С. 24–32.

19. Веренько В. А. Проект дорожной одежды нежесткого типа. Минск : БНТУ, 2019. 299 с.

References

1. Zhukovskiy E. M. *Metodika projektirovaniya i konstruirovaniya nezhestkikh dorozhnykh odezhd s razlichnoy prochnost'yu po shirine proezzhey chasti* [Methodology of design and construction of non-rigid roadways with different strength along the width of the roadway]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2022, no. 6 (95), pp. 125–133. DOI 10.23968/1999-5571-2022-19-6-125-133.

2. Babkov V. F., Bezruk V. M. *Osnovy gruntovedeniya i mekhaniki gruntov* [Fundamentals of soil science and soil mechanics]. 2-nd ed., revised. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1986, 238 p.

3. Priklonskiy V. A. *Gruntovedenie* [Soil Science]. 3-rd ed., revised. Moscow: Gosgeoltekhizdat Publ., 1955.

4. Arus N. N., Goryachev M. G. *Obzor i analiz metodov projektirovaniya nezhyostkikh dorozhnykh odezhd dlya otsenki ikh effektivnosti v sovremennoy mezhdunarodnoy praktike* [Review and analysis of the methods of designing non-rigid roadways for estimation of their efficiency in modern international practice]. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura – Automobile. Road. Infrastructure*, 2021, no. 3 (29). Available at: <https://www.adi-madi.ru/madi/article/view/>

5. Kovalev Ya. N. *Vvedenie v inzhenernoe obrazovanie. Avtomobil'nye dorogi* [Introduction to engineering education. Automobile roads]. Minsk, Art Dizayn Publ., 2010, 239 p.

6. Golovachev S. E. *Ob ustroystve zemskikh dorog i otnoshenii ikh k zheleznyam putyam dlya razvitiya proizvoditel'nosti Rossii* [On the design of provincial roads and their relation to railroads for the development of productivity of Russia]. Kiev, Tip. I. i A. Davidenko Publ., 1870, 200 p.

7. Dubelir G. D., Zakharov G. F., Til' B. I. *Ekspluatatsiya avtoguzhevykh dorog* [Exploitation of highway roads]. Leningrad, Gostransizdat Publ., 1934, 478 p.

8. Ivanov N. N. *K voprosu o vybere i opredelenii tolshchiny dorozhnykh odezhd* [To the issue of selection and determination of road clothes thickness]. *Transport i dorogi goroda – Transport and roads of the city*, 1936, no. 4, pp. 17–20.

9. Trishin G. G., Poritskiy R. Z., Koryukov V. P. *Prochnost' mnogopolosnykh dorog* [Durability of multi-lane roads]. *Avtomobil'nye dorogi – Automobile Roads*, 1978, no. 9, pp. 22–23.

10. Semenov S. V. *Kachestvo i odnorodnost' avtomobil'nykh dorog* [Quality and homogeneity of automobile roads]. Moscow, Transport Publ., 1989, 125 p.

11. Uglova E. V., Tiraturyan A. N., Lyapin A. A. *Kompleksniy podkhod k issledovaniyu kharakteristik dinamicheskogo deformirovaniya na poverkhnosti nezhestkikh dorozhnykh odezhd s ispol'zovaniem metodov nerazrushayushchego kontrolya* [Complex approach to the study of dynamic deformation characteristics on the surface of non-rigid roadways using non-destructive testing methods]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Mekhanika – Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Mechanics*, 2016, no. 2, pp. 111–130.

12. Tiraturyan A. N., Akulov V. V., Lobov I. V. *Otsenka odnorodnosti kak element kontrolya kachestva ustroystva dorozhnoy odezhd* [Estimation of homogeneity as an element of quality control of road pavement design]. *Modernizatsiya i nauchnye issledovaniya v transportnom komplekse – Modernization and Scientific Research in the Transport Complex*, 2018, vol. 1, pp. 203–206.

13. Nikolenko M. A. *Uchet osobennostey nagruzheniya polos dvizheniya avtomagistralei pri projektirovanii dorozhnykh odezhd. Diss. kand. tekhn. nauk* [Taking into

account the features of loading of highway traffic lanes in the design of road pavements. PhD in Sci. Tech. diss.]. Rostov-on-Don, 2006, 185 p.

14. Iliopolov S. K., Uglova E. V., Nikolenko M. A. *NDS dorozhnykh konstruktsiy s zhestkimi sloyami osnovaniy* [SSS of road structures with rigid layers of bases]. *Trudy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. RGSU «Stroitel'stvo-2002»* [Proceedings of the International sci. – pract. conf. RGSU “Builder -2002”]. Rostov-on-Don, 2002, 146 p.

15. Uglova E. V., Nikolenko M. A. *Vliyanie massy transportnykh sredstv na uroven' dinamicheskogo vozdeystviya na dorozhnuyu* [Impact of vehicle traffic mass on the level of dynamic load on road]. *Trudy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. RGSU «Stroitel'stvo-2004»* [Proceedings of the International sci. – pract. conf. RGSU “Builder - 2004”]. Rostov-on-Don, 2004.

16. Yaromko V. N. *O raschete summarnoy intensivnosti dvizheniya pri proektirovanii dorozhnykh odezhd* [About

calculation of total traffic intensity at designing of road clothes]. *Avtomobil'nye dorogi i mosty – Automobile Roads and Bridges*, 2016, no. 2, pp. 17–19.

17. Yaromko V. N. *O sovershenstvovanii metodov rascheta nezhestkikh dorozhnykh odezhd* [About improvement of calculation methods of non-rigid roadways]. *Stroitel'naya nauka i tekhnika – Building Science and Technology*, 2007, no. 2, pp. 25–32.

18. Shtabinskiy V. V. *K voprosu naznacheniya konstruktsiy asfal'tobetonnykh pokrytiy s prosloykami iz armiruyushchikh geosinteticheskikh materialov* [To the issue of assignment of designs of asphalt-concrete coverings with inter-layers from reinforcing geo-synthetic materials]. *Avtomobil'nye dorogi i mosty – Automobile Roads and Bridges*, 2015, no. 2, pp. 24–32.

19. Veren'ko V. A. *Proekt dorozhnoy odezhdyy nezhestkogo tipa* [Project of road pavement of non-rigid type]. Minsk, BNTU Publ., 2019, 299 p.