

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

УДК 625.7/.8

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

DOI 10.23968/1999-5571-2022-19-6-125-133

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

МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ И КОНСТРУИРОВАНИЯ НЕЖЕСТКИХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД С РАЗЛИЧНОЙ ПРОЧНОСТЬЮ ПО ШИРИНЕ ПРОЕЗЖЕЙ ЧАСТИ

METHODOLOGY FOR THE DESIGN AND CONSTRUCTION OF NON-RIGID ROAD PAVEMENT WITH VARYING STRENGTH VALUES ACROSS THE WIDTH OF THE ROADWAY

Статья посвящена актуальным вопросам проектирования нежестких дорожных одежд. В настоящий момент без должного внимания остается вопрос конструирования дорожных одежд с учетом реального воздействия транспортной нагрузки, влагонакопления и промерзания. Традиционно дорожная одежда устраивается с одинаковой прочностью на всю ширину проезжей части многополосной автомобильной дороги, с одинаковой конструкцией как для самой загруженной полосы, так и для второстепенных полос. Влагонакопление и промерзание в прочностных расчетах не участвует. Предлагаемая методика позволяет объединить данные факторы. Результаты исследования данной статьи могут быть использованы при проектировании нежестких дорожных одежд.

Ключевые слова: дорожная одежда, проектирование дорог, прочность.

The article is devoted to topical issues of designing non-rigid road pavement. At present, the issue of road pavement design is not paid due attention, taking into account the real impact of traffic loads, moisture accumulation and freezing. Traditionally, road pavement is constructed with the same strength for the entire width of the carriageway of a multi-lane highway, with the same design for both the busiest lane and secondary lanes. Moisture accumulation and freezing are not taken into account in strength calculations. The proposed methodology allows combining these factors. The results of the study of this article can be used in the design of non-rigid road pavements.

Keywords: road pavement, road design, strength.

Введение

Наблюдения за дорожными конструкциями автомобильных дорог общего пользования показывают, что снижение транспортно-эксплуатационных характеристик дорожных одежд по ширине проезжей части происходит неравномерно. Первые полосы движения многополосных дорог больше подвержены возникновению пластических деформаций, сеток трещин, выбоин и просадок [1, 2]. Аналогичные дефекты возникают и под полосами наката, расположен-

ными ближе к кромке проезжей части двухполосных дорог.

Данные дефекты значительно снижают уровень безопасности движения, потребительские качества покрытия и нередко имеют критический характер, вследствие чего требуется немедленное принятие мер по их устранению. Фактические сроки службы покрытия первых полос проезжей части зачастую на 50 % ниже, чем покрытия на других полосах.

К основным факторам, которые определяют различие в условиях работы конструкции дорожной одежды по ширине проезжей части, можно отнести: воздействие транспортной нагрузки, влагонакопление и водоотведение конструкций, морозостойчивость конструкций, влияние геометрических параметров трассы, надежность дорожных одежд. Необходимость их учета была обоснована в результате исследований, выполненных под руководством профессора Н. Н. Иванова в 1943 г. [3]. Данные факторы постепенно внедрялись в практику проектирования [4–6], однако рассматривались отдельно, что не имело необходимого эффекта, так как проектирование дорожных одежд по одному фактору принципиально не влияет на последующие, что и является причиной их преждевременного разрушения [2, 7, 8].

В настоящее время в Беларуси, России и других странах бывшего СССР приняты следующие этапы проектирования и расчета нежестких дорожных одежд [9–13]:

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

Учет транспортной нагрузки, ее интенсивности и величины осуществляется на этапе расчета по допускаемому упругому прогибу.

Величина требуемого модуля упругости на поверхности дорожной одежды $E_{тр}$ зависит от числа накопленных осей расчетных автомобилей ΣN_p , приложенных к расчетной точке на поверхности конструкции за расчетный срок службы, и определяется по формуле

$$E_{тр} = 98,65 \cdot [\lg(\Sigma N_p) - c], \quad (1)$$

где ΣN_p — число накопленных осей за расчетный срок службы дорожной одежды; c — коэффициент, зависящий от группы нагрузок.

Число накопленных осей за расчетный срок службы дорожной одежды ΣN_p определяют исходя из типа дорожной одежды, сроков службы, дорожно-климатического района, количества расчетных автомобилей и их распределения по полосам движения.

Для многополосных автомобильных дорог дорожная одежда проектируется с одинаковой прочностью по всем полосам. Причем конструкция назначается для самой загруженной полосы. В таком случае при определении числа накопленных осей за расчетный срок службы дорожной одежды ΣN_p используют коэффициент, учитывающий число полос движения и распределение движения по ним $f_{пол}$, так называемый коэффициент полосности.

Необходимо отметить, что сложившийся подход по проектированию дорожных одежд многополосных дорог, где с одинаковой прочностью устраиваются все полосы, характерен и для других стран с некоторыми национальными особенностями (США, Германия, Великобритания и др.) [14–16]. Это приводит к нерациональному использованию ресурсов, что нельзя назвать соответствующим принципам устойчивого развития.

Оценка необходимости назначения дополнительных мер по осушению и морозозащите конструкции производится на основании результатов инженерно-геологических исследований района строительства объекта.

Устойчивость земляного полотна и дорожной одежды будет обеспечена при условии создания стабильного неизменного во времени водно-теплого режима земляного полотна. Прочностные свойства грунтов земляного полотна существенно зависят от их влажности. При влажности на пределе текучести несущая способность (модуль упругости) грунтов резко уменьшается.

Во время промерзания грунтов земляного полотна при неблагоприятных грунтовых и гидрологических условиях, наряду с требуемой прочностью и устойчивостью должна быть обеспечена достаточная морозостойчивость дорожных одежд.

Схема увлажнения дорожной конструкции и совместного негативного действия погодноклиматических факторов показана на рис. 1.

Использование средств по осушению и дренированию дорожных конструкций позволяет решить вопросы увлажнения дорожной конструкции и влагонакопления в ней, которое осуществляется за счет притока воды от капиллярного поднятия уровня грунтовых и фильтрующихся

вод через откосы с прилегающей территории. Причем вопросы притока воды к конструктивным слоям дорожной одежды через обочины не учтены [17].

Проектирование мероприятий по осушению дорожной одежды заключается в подборе такой толщины дополнительного слоя основания (дренирующего), при котором конструктивные элементы дорожного и земляного полотна не будут подвержены влагонакоплению.

Морозозащита обеспечивается, как правило, сравнением суммарной толщины дорожной одежды с глубиной промерзания грунта. Если толщина слоев оказывается недостаточной, то устраивают дополнительный (морозозащитный) слой основания до обеспечения требуемой толщины.

Такой подход к назначению мероприятий по осушению дорожных одежд и морозозащите показывает, что влияния климатических факторов на автомобильную дорогу не задействованы в прочностных расчетах дорожных одежд, хотя и имеют важное значение для обеспечения прочностных свойств дорожной одежды.

Методы

Для разработки методики учёта совместного воздействия транспортного потока и погодноклиматических факторов было проведено исследование влияния данных факторов на состояние покрытий в зависимости от их сроков службы.

Так, определялись дефектность покрытия, ровность покрытия, распределение прочностных показателей в зависимости от числа полос движения, интенсивности движения транспорт-

ных средств и сроков службы покрытия [2, 18, 19, 20].

Интенсивность движения транспортных средств и их распределение по полосам определялась визуальным методом и автоматизировано, с использованием Системы динамического взвешивания Государственного учреждения «Белавтострада» [2, 18].

Оценка влияния погодноклиматических факторов определялась по дефектности покрытия в зависимости от ширины укрепленных элементов обочины [17]. Для этого были исследованы двухполосные дороги с целью исключить влияние транспортной нагрузки. Полоса движения делилась на два равных сегмента, один из которых включал правую полосу наката, а второй левую.

Результаты

Как показывают результаты исследования транспортного потока по визуальному определению интенсивности и анализа данных Системы динамического взвешивания Государственного учреждения «Белавтострада» [2, 18], реальное распределение транспортного потока не соответствует нормативному. Например, фактические коэффициенты $f_{пол}$ на дорогах Республики Беларусь превышают нормативные значения в 1,3 раза.

Установлено, что основным фактором влияния водно-теплого режима на работу дорожной конструкции на различных полосах проезжей части является величина параметра гидроизоляции Υ , под которым понимают суммарную ширину элементов дорожной конструкции, вы-

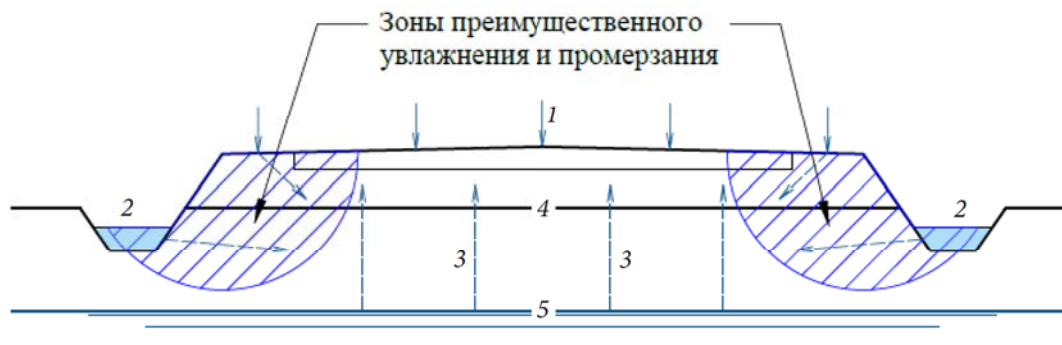


Рис. 1. Источники увлажнения и распределение интенсивности воздействия водно-тепловых факторов на дорожную конструкцию: 1 — атмосферные осадки; 2 — поверхностная вода; 3 — капиллярная вода от уровня грунтовых вод; 4 — уровень поверхности земли; 5 — уровень грунтовых вод

полняющих роль гидроизоляции слоев дорожной одежды и земляного полотна (укрепленные полосы обочин, остановочные полосы, полосы движения, гидроизоляционные прослойки на обочинах), исчисляемую от правого края рассматриваемой полосы движения в направлении бровки обочины.

Обсуждение

Для учёта воздействия негативных разрушающих факторов предлагается устройство разнопрочных дорожных одежд. Такие дорожные одежды учитывают реальное совместное воздействие негативных разрушающих факторов и способствуют достижению ответственного потребления и рационального использования ресурсов [19].

Разнопрочной дорожной одеждой называется такая дорожная одежда, прочностные показатели которой распределены неравномерно по всей ширине проезжей части и соответствуют реальному воздействию (рис. 2).

Вопросами прочности многополосных дорог занимались в 1970-е гг. в БелдорНИИ. Так, Г. Г. Тришиным, Р. З. Порицким и В. П. Корюковым в 1978 г. были предложены конструкции дорожных одежд с различной прочностью по ширине проезжей части [1]. В нормативной документации возможность проектирования таких конструкций появилась в 1983 г. с введением в действие Инструкции по проектированию дорожных одежд нежесткого типа (ВСН 46–82) [6].

В настоящее время положения Инструкции [6] о возможности проектирования различных конструкций по полосам многополосных дорог сохранены в документах Беларуси, России, Украины, Казахстана, Узбекистана [9–13]. Их проектирование основано на применении коэффициента полосности $f_{\text{пол}}$.

Для эффективного учета транспортного потока необходимо назначать требуемый модуль упругости $E_{\text{тр}}$ по формуле (1) для каждой полосы движения и проектировать различные конструкции дорожной одежды для этих полос.

Однако сегодня не существует каких-либо разработанных методик проектирования таких конструкций и отсутствуют сведения об опыте их устройства и эксплуатации.

Стоит отметить, что существующая методика позволяет учесть только отдельное негативное

воздействие транспортной нагрузки без связи с погодно-климатическими воздействиями.

Проведенные исследования позволили установить влияние данных параметров при проектировании дорожных одежд и внедрить их в проектирование.

Так, при проектировании и расчете разнопрочной дорожной одежды применяется критерий упругого прогиба, который отражает комплексную способность конструкции быть устойчивой к возникновению дефектов различного типа (силовых, усталостных и пластических разрушений). Коэффициент прочности по критерию упругого прогиба $K_{\text{пр}i}^{\text{ТР}}$ назначается для каждой полосы движения отдельно.

Коэффициент прочности по критерию упругого прогиба для каждой полосы $K_{\text{пр}i}^{\text{ТР}}$ определяется корректированием коэффициента прочности по критерию упругого прогиба для всей дорожной конструкции $K_{\text{пр}}^{\text{ТР}}$, который назначается по стандартным методикам проектирования, путем использования параметра учета распределения транспортной нагрузки a_{1i} и параметра учета неравномерности воздействия водно-теплого режима a_{2i} по формуле

$$K_{\text{пр}i}^{\text{ТР}} = K_{\text{пр}}^{\text{ТР}} \cdot a_{1i} \cdot a_{2i}, \quad (2)$$

где $K_{\text{пр}i}^{\text{ТР}}$ — коэффициент прочности по критерию упругого прогиба для i -й полосы проезжей части разнопрочной дорожной одежды; $K_{\text{пр}}^{\text{ТР}}$ — коэффициент прочности по критерию упругого прогиба для всей конструкции дорожной одежды, определяется по регламенту стандартных методик проектирования; a_{1i} — параметр учета распределения транспортной нагрузки, определяется по номограммам (рис. 3); a_{2i} — параметр учета неравномерности воздействия водно-теплого режима, определяется для первой полосы по номограммам вида рис. 4, а для вторых и третьих принимается равным 1,0.

Расчет разнопрочной конструкции дорожной одежды выполняется для каждой полосы автомобильной дороги.

Разнопрочные дорожные одежды конструируются путем применения следующих мероприятий:

- применение асфальтобетонных смесей различных типов на разных полосах по ширине проезжей части;



Рис. 2. Распределение прочностных показателей разнопрочной дорожной конструкции по ширине проезжей части

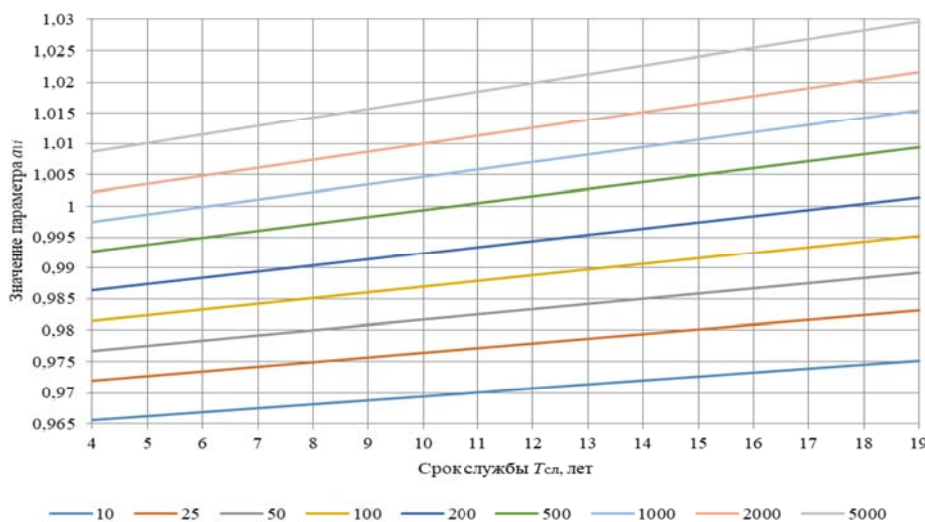


Рис. 3. Номограмма для определения параметра a_{1i} в зависимости от приведенной к расчетному автомобилю интенсивности движения (на прямых), авт./сут

- устройство армирующих прослоек из геосинтетических материалов в пределах правых полос;
- устройство слоев покрытия и основания переменной толщины.

Выбор разнопрочной конструкции будет рациональным, если будет выполнено следующее условие: при одинаковом сроке службы конструкции до капитального ремонта $T_{сл}$ будет обеспечена меньшая стоимость дорожной одежды.

Результаты технико-экономического сравнения показывают, что стоимость разнопрочных конструкций может отличаться от традиционных на величину не более 10 %.

Особенности конструирования дорожных одежд со слоями переменной толщины

Слои основания переменной толщины устраиваются на дорогах при невозможности обеспечения заданного уровня прочности иными методами как на многополосных дорогах, так и на дорогах с двумя полосами движения.

С переменной толщиной могут устраиваться слои покрытия и основания как укрепленные, так и неукрепленные вяжущими материалами.

На многополосных дорогах расчетное сечение принимается по левому краю полосы движения. Требуемая толщина слоев должна быть обеспечена в расчетном сечении для каждого слоя.

Схема конструкций дорожных одежд представлена на рис. 5.

Материалы и толщины конструктивных слоев на каждой полосе многополосной дороги определяют исходя из требуемого коэффициента прочности по критерию упругого прогиба каждой полосы $K_{прi}^{ТР}$.

Требуемый дополнительный поперечный уклон $i_{доп}$ конструктивного слоя для обеспечения разнопрочности на многополосной дороге определяется по формуле

$$i_{доп} = \frac{h_1 - h_n}{b(n-1)}, \quad (3)$$

где h_1 — толщина конструктивного слоя на первой полосе по её левой кромке, м; h_n — толщина конструктивного слоя на крайне левой полосе по её левой кромке, м; b — ширина полосы движения, м; n — количество полос движения.

Требуемый дополнительный поперечный уклон $i_{доп}$ конструктивного слоя для обеспечения разнопрочности на дороге с двумя полосами определяется по формуле

$$i_{доп} = \frac{h_1 - h_0}{b}, \quad (4)$$

где h_1 — толщина конструктивного слоя на кромке проезжей части, м; h_0 — толщина конструктивного слоя на оси проезжей части, м; b — ширина полосы движения, м.

Для обеспечения устойчивости дорожной конструкции должно быть обеспечено условие

$$i_{доп} + i \leq 0,050, \quad (5)$$

где i — поперечный уклон дорожного покрытия, доли ед.; 0,050 — предел поперечного уклона верха земляного полотна.

При невыполнении условия (5) принимают предельный поперечный уклон и уточняют значение толщин конструктивных слоев. Достижение заданного уровня надежности обеспечивается дополнительными мерами.

Выводы

Наблюдение за дорожными конструкциями многополосных автомобильных дорог показывает, что их разрушение происходит неравномерно, причем большему разрушению подвержены первые (правые) полосы при сохранности левых. Существующие методы проектирования дорожных одежд не в полной мере учитывают разрушающее воздействие транспортной нагрузки и погодных-климатических факторов.

Так, на сегодняшний момент отсутствует совместный расчет на прочность от воздействия транспортной нагрузки и погодных-климатических факторов, хотя два этих фактора оказывают максимальное разрушающее воздействие.

Приведенная методика позволяет учесть данные факторы при расчете на прочность дорожных одежд.

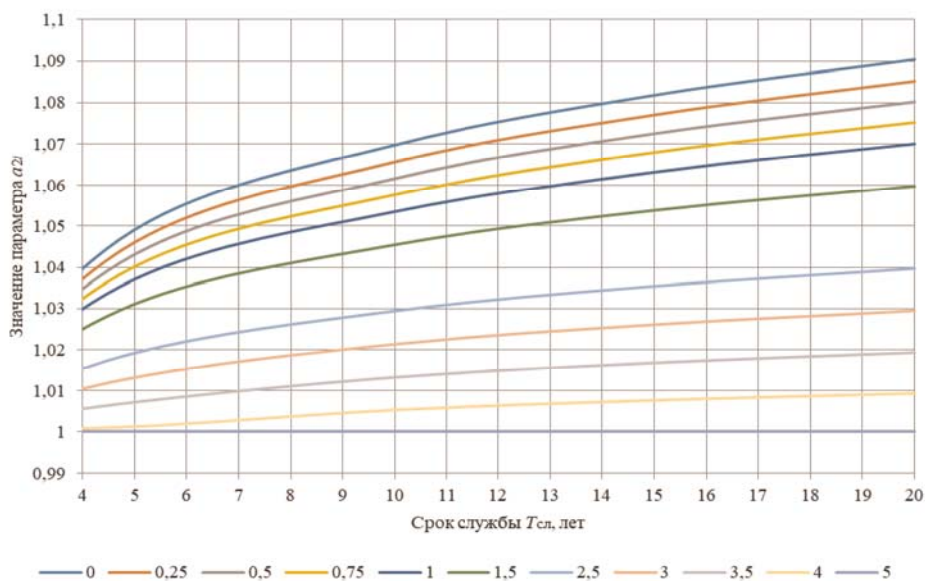


Рис. 4. Пример номограммы для определения параметра a_2 для первой полосы при различных параметрах гидроизоляции γ (на кривых)

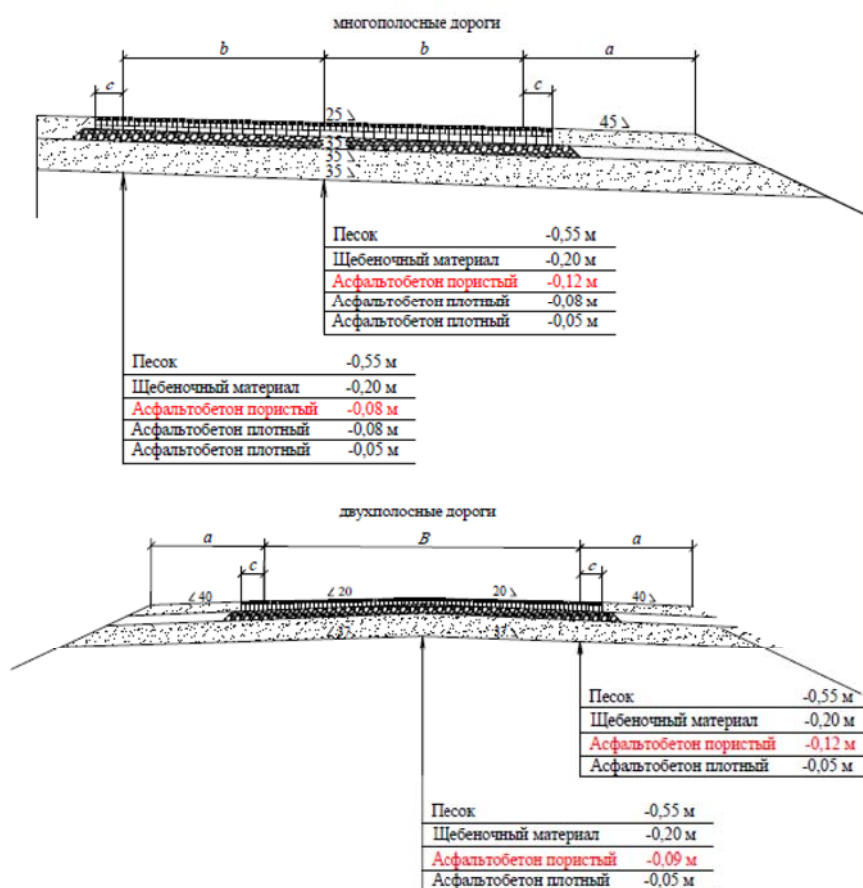


Рис. 5. Схема конструкции дорожной одежды с переменной толщиной слоев

Для снижения влияния указанных факторов предлагается устройство разнопрочных дорожных конструкций. Их прочность соответствует прикладываемому к дорожной одежде воздействию. По стоимости такие конструкции сопоставимы с традиционными. При этом технология их проектирования и устройства основана на применении традиционных методов и материалов.

Устройство разнопрочных дорожных конструкций способно внести свой вклад в обеспечение устойчивости дорожного строительства в рамках ответственного потребления.

Библиографический список

1. Тришин Г. Г., Порицкий Р. З., Корюков В. П. Прочность многополосных дорог // Автомобильные дороги. 1978. № 9. С. 22–23.
2. Жуковский Е. М., Ладышев А. В., Корончик А. В., Кравченко С. Е. Факторы, определяющие характер

напряженно-деформированного состояния дорожной конструкции на различных полосах движения транспорта // Автомобильные дороги и мосты. 2021. № 2. С. 14–23.

3. 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: ВСН 46–60. Введ. 01.01.1961. Министерство транспортного строительства СССР. М.: Автотрансиздат, 1961. 78 с.

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

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

7. Кирюхин Г. Н. Учет условий эксплуатации при проектировании и строительстве асфальтобетонных покрытий (начало) // Транспортное строительство. 2016. № 11. С. 5–8.

8. Кирюхин, Г. Н. Учет условий эксплуатации при проектировании и строительстве асфальтобетонных покрытий (окончание) // Транспортное строительство. 2016. № 12. С. 6–8.

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

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

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

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

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

14. Yang H. Huang. Pavement Analysis and Design / Yang H. Huang. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2003. 792 p.

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

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

17. Жуковский Е. М. [и др.]. Влияние укрепленных элементов обочин на изменение дефектности по ширине дорожных покрытий // Автомобильные дороги и мосты. 2022. №1. С. 19–27.

18. Жуковский Е. М. Анализ воздействия транспортной нагрузки на неравномерное разрушение по ширине нежестких дорожных одежд // Дорожное строительство и его инженерное обеспечение: материалы Международной научно-технической конференции / редкол.: С. Е. Кравченко (гл. ред.) [и др.]; сост. В. А. Ходяков. Минск: БНТУ, 2021. С. 48–53.

19. Жуковский, Е. М. Корончик А. В., Кравченко С. Е. Особенности воздействия транспорта на конструкции нежестких дорожных одежд и их учет при проектировании конструкций // Каспий и глобальные вызовы: материалы Международной научно-практической конференции, Астрахань, 23–24 мая 2022 г. / сост.: О. В. Новиченко [и др.]. Астрахань: ФГБОУ ВПО «Астраханский государственный университет», 2022. С. 888–893.

20. Жуковский Е. М. Корончик А. В. Оценка эксплуатационного состояния дорожных покрытий по ширине проезжей части // Дорожное строительство и его инженерное обеспечение: материалы Международной научно-технической конференции / сост. В. А. Ходяков. Минск: БНТУ, 2021. С. 65–71.

References

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

2. Zhukovskiy E. M., Ladyshev A. V., Koronchik A. V., Kravchenko S. E. *Fakty, opredelyayushchie kharakter napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya dorozhnoy konstruksii na razlichnykh polosakh dvizheniya transporta* [Factors determining the nature of the stress and strain state of the road structure on different traffic lanes]. *Avtomobil'nye dorogi i mosty – Automobile roads and bridges*, 2021, no. 2, pp. 14–23.

3. *Vybor konstruksiy dorozhnykh odezhd (Teoriya prochnosti i metody rascheta)* [Choosing road pavement designs (strength theory and calculation methods)]. Ed. by Ivanov N. N., Kriviskiy A. M. Moscow, Dorizdat Publ., 1943, 68 p.

4. *Instruksiya po naznacheniyu konstruksiy dorozhnykh odezhd nezhestkogo tipa: VSN 46-60* [Instruction for choosing the structures of non-rigid type road pavements: VSN 46-60]. Intr. 01.01.1961. Ministry of Transport Construction of the USSR. Moscow, Avtotransizdat Publ., 1961, 78 p.

5. *Instruksiya po naznacheniyu konstruksiy dorozhnykh odezhd nezhestkogo tipa VSN 46-72* [Instruction for choosing the structures of non-rigid type road pavements: VSN 46-72]. Intr. 10.07.1972. Moscow, Transport Publ., 1973, 83 p.

6. *Instruksiya po proektirovaniyu dorozhnykh odezhd nezhyostkogo tipa: VSN 46-83* [Instruction for the design of non-rigid type road pavements: VSN 46-83]. Intr. 29.04.1983. Mintransstroy SSSR. Moscow, Transport, 1985, 157 p.

7. Kiryukhin G. N. *Uchet usloviy ekspluatatsii pri proektirovanii i stroitel'stve asfal'tobetonnykh pokrytiy (nachalo)* [Accounting for operating conditions in the design and construction of asphalt concrete pavements (beginning)]. *Transportnoe stroitel'stvo – Transport Construction*, 2016, no. 11, pp. 5–8.

8. Kiryukhin, G. N. *Uchet usloviy ekspluatatsii pri proektirovanii i stroitel'stve asfal'tobetonnykh pokrytiy (okonchanie)* [Accounting for operating conditions in the design and construction of asphalt concrete pavements (final part)]. *Transportnoe stroitel'stvo – Transport Construction*, 2016, no. 12, pp. 6–8.

9. *Avtomobil'nye dorogi. Nezhestkie dorozhnye odezhd. Pravila proektirovaniya: TKP 45-3.03-112-2008 (02250)* [Highways. Non-rigid road pavements. Design Rules: TKP 45-3.03-112-2008 (02250)]. Minsk, 2008, 114 p.

10. *Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya. Nezhestkie dorozhnye odezhd. Pravila proektirovaniya: PNST 542-2021* [Roads for public use. Non-rigid road

surfaces. Design rules: PNST 542-2021]. Moscow, 2021, 146 p.

11. *Avtomobil'ni dorogi. Dorozhniy odyag nezhorstkiy. Proektivannyya: GBN V.2.3-37641918-559:2019* [Highways. Non-rigid road pavements. Design Rules: GBN B.2.3-37641918-559:2019]. Kiev, 2019, 59 p.

12. *Proektirovanie dorozhnykh odezhd nezhestkogo tipa: SP RK 3.03-104-2014* [Design of road pavements of non-rigid type: SP RK 3.03-104-2014]. Astana, 2014, 83 p.

13. *Instruktsiya po proektirovaniyu dorozhnykh odezhd nezhyostkogo tipa: MKN 46-2008* [Instruction on design of road pavements of non-rigid type: MKN 46-2008]. Tashkent, Avtodorozhniy nauchno-issledovatel'skiy institut GAK Uzavtoyul Publ., 1973, 245 p.

14. Yang H. Huang. *Pavement Analysis and Design*. Yang H. Huang. Upper Saddle River, Pearson Prentice Hall, 2003, 792 p.

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

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

17. Zhukovskiy E. M., et al. *Vliyanie ukreplennykh elementov obochin na izmenenie defektnosti po shirine dorozhnykh pokrytiy* [Influence of reinforced elements of the roadside on changes in defectiveness across the width of road pavements]. *Avtomobil'nye dorogi i mosty – Automobile roads and bridges*, 2022, no. 1, pp. 19–27.

18. Zhukovskiy E. M. *Analiz vozdeystviya transportnoy nagruzki na neravnomernoe razrushenie po shirine nezhestkikh dorozhnykh odezhd* [Analysis of

the impact of transport load on the non-uniform width defectiveness of non-rigid road pavements]. *Trudy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Dorozhnoe stroitel'stvo i ego inzhenernoe obespechenie»* [Proceedings of the International scientific conference «Road construction and its engineering provision»] Ed. by Kravchenko S. E., et al. Compiled by Khodyakov V. A. Minsk, BNTU Publ., 2021, pp. 48–53.

19. Zhukovskiy E. M., Koronchik A. V., Kravchenko S. E. *Osobennosti vozdeystviya transporta na konstruksii nezhestkikh dorozhnykh odezhd i ikh uchet pri proektirovanii konstruksiy* [Features of non-rigid road pavements and taking them into consideration at designing road structures]. *Trudy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Kaspiy i global'nye vyzovy», Astrakhan', 23–24 maya 2022 g.* [Proceedings of the International scientific conference «Caspian Sea and Global Challenges», Astrakhan, May 23–24, 2022]. Compiled by Novichenko O. V., et al. Astrakhan', FGBOU VPO Astrakhanskiy Gosudarstvenniy Universitet Publ., 2022, pp. 888–893.

20. Zhukovskiy E. M., Koronchik A. V. *Otsenka ekspluatatsionnogo sostoyaniya dorozhnykh pokrytiy po shirine proezzhey chasti* [Assessment of the operational condition of road surfaces by the width of the roadway]. *Trudy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Dorozhnoe stroitel'stvo i ego inzhenernoe obespechenie»* [Proceedings of the International scientific and technical conference «Road construction and its engineering provision»]. Compiled by Khodyakov V. A. Minsk, BNTU Publ. 2021, pp. 65–71.