**УДК 625.7/.8**

**Расчет риска разрушения дорожной одежды по допускаемым напряжениям на растяжение при изгибе в монолитных слоях**

**Столяров Виктор Васильевич, Белозеров Ярослав Михайлович, Валиев Шерали Назаралиевич**

***СГТУ имени Гагарина Ю.А., СГТУ имени Гагарина Ю.А., ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)»***

В статье представлен расчет на прочность конструкции автомобильной дороги по допускаемым напряжениям на растяжение при изгибе в монолитных слоях. Проведена проверка типовых конструкций дорожных одежд по условию образования трещин при изгибе.Проверка ведется по критерию максимальных растягивающих напряжений на подошве слоя по оси нагрузки

Данная работа направлена на установление вероятности возникновения трещин в монолитном слое при изгибе в зависимости от качественного состояния конструкций и изменений влажности грунта земляного полотна в весенний период. При этом учитывается, что распределение растягивающих напряжений в монолитном слое при изгибе не противоречит нормальному закону распределения.

*Ключевые слова: автомобильная дорога, дорожное покрытие, проектирование, риск, транспортная нагрузка, поврежденность, трещина, растяжение на изгиб.*

**CALCULATION OF THE RISK OF DESTRUCTION OF THE PAVEMENT BY PERMISSIBLE STRESSES IN MONOLITHIC LAYERS**

**Stolyarov V.V., Belozerov Y.M., Valiev S.N.**

***Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, MOSCOW AUTOMOBILE AND ROAD CONSTRUCTION STATE TECHNICAL UNIVERSITY (MADI)***

The article presents a calculation of the strength of the highway structure according to the permissible tensile stresses during bending in monolithic layers. The standard structures of road clothes were checked according to the condition of crack formation during bending. The test is carried out according to the criterion of maximum tensile stresses on the sole of the layer along the load axis

This work is aimed at establishing the probability of cracks in a monolithic layer during bending, depending on the qualitative condition of structures and changes in soil moisture of the roadbed in the spring period. It is taken into account that the distribution of tensile stresses in a monolithic layer during bending does not contradict the normal distribution law.

*Key words: Road, surface, design, risk, load, damage, crack, bend.*

# Введение

Отказ дорожной одежды, связанный с недостаточной прочностью, может возникнуть по многим причинам и, в частности, в результате усталостных разрушений монолитных слоев под воздействием растягивающих напряжений от многократного приложения транспортной нагрузки. Как следствие этого, последующее интенсивное ухудшение транспортно-эксплуатационных свойств дорожной одежды до истечения срока ее службы. Поэтому расчет на прочность выполняют по допускаемым напряжениям на растяжение при изгибе в монолитных слоях.

Прогиб дорожной одежды возникает под влиянием движения транспортных средств. Его величина зависит от температурных, влажностных и других факторов. Поэтому слои покрытия испытывают различные по величине сжимающие и растягивающие напряжения, которые меняются во времени.

Сплошность монолитных слоях не будет нарушена, если растягивающие напряжения при многократном изгибе не превысят допустимых напряжений (для материала данного слоя), установленных с учетом усталостных явлений. Поэтому для слоев с органическим вяжущим проверка ведется по критерию максимальных растягивающих напряжений на подошве слоя по оси нагрузки.

Данная работа направлена на установление вероятности возникновения трещин в монолитном слое при изгибе в зависимости от качественного состояния конструкций и изменений влажности грунта земляного полотна в весенний период.

При этом учитывается, что распределение растягивающих напряжений в монолитном слое при изгибе не противоречит нормальному закону распределения.

# Метод решения

# Проведена проверка типовых конструкций дорожных одежд по условию образования трещин при изгибе. Альбом типовых конструкций нежестких дорожных одежд в различных климатических зонах направлен на выполнение требований ТР ТС 014/2011, Федерального закона Российской Федерации от 30 декабря 2009 года № 384- ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» и других действующих нормативных документов. Следовательно, типовые конструкции нежестких дорожных одежд должны предоставлять уровень надежности, допустимый для заявленной категории.

Из альбома было выбрано 27 дорожных одежд, соответствующих IБ, II и III техническим категориям для I, II и III дорожно-климатических зон, которые были рассчитаны по ПНСТ 542-2021, а затем, по формулам теории риска.

Пример расчета предоставлен далее.

Пример расчета нежесткой дорожной одежды с использованием математического аппарата теории риска

# Общие положения

Риск возникновения трещин в монолитном слое при изгибе можно определить по формуле (1):

*,*

где – критическое (максимальное) растягивающее напряжение в монолитном слое, при возникновении которого вероятность появления трещин равна 50%, МПа;

- наибольшее растягивающее напряжение в рассматриваемого слое, МПа;

и - среднеквадратические отклонения параметров и , МПа.

Расчетное растягивающее напряжение определяют по формуле 20, ПНСТ 542-2021:

*,*

где - растягивающее напряжение от единичной нагрузки (рисунок 5 ПНСТ 542-2021), определяемое по номограмме рис Е.52 для гладкого контакта при нижележащем слое из неукрепленного материала, или по номограмме рисунок Е.51 для спаянного контакта, МПа;

- коэффициент, учитывающий особенности напряженного состояния покрытия конструкции под спаренным баллоном;

- расчетное давление от колеса на покрытие, МПа.

Среднеквадратическое отклонение наибольшего растягивающего напряжения в рассматриваемом слое определяем по формуле:

,

где - коэффициент вариации растягивающих напряжений при изгибе в монолитном слое.

Критическое растягивающее напряжение в монолитном слое, при котором вероятность появления трещин равна 50%, вычисляем по формуле:

,

где - коэффициент вариации критического растягивающего напряжения; - предельное растягивающее наряжение материала слоя с учетом усталостных явлений, МПа; - среднеквадратическое отклонение допустимого растягивающего напряжения материала, МПа;

(5) ,

где 0,1 – коэффициент вариации прочности асфальтобетона.

Среднеквадратическое отклонение критического растягивающегося напряжения определяем по формуле

*.*

Коэффициент вариации критического растягивающего напряжения определяем по формуле:

,

где и – модули упругости верхнего и нижнего слоев, МПа; *h* - толщина верхнего слоя, см; - коэффициент вариации модуля упругости верхнего слоя; - коэффициент вариации модуля упругости нижнего слоя; - коэффициент вариации суммарной толщины асфальтобетонных слоев.

Модуль упругости верхнего слоя модели вычисляют как средневзвешенный по формуле 16, ПНСТ 542-2021:

,

где *n* – число слоев дорожной одежды; *E* *i* – модуль упругости *i*-го слоя; h *i* – толщина *i*-го слоя.

При новом строительстве или капитальном ремонте с заменой всех слоев асфальтобетона нижним слоем модели служит часть конструкции, расположенная ниже пакета асфальтобетонных слоев, включая грунт рабочего слоя земляного полотна. При ремонтах (замене двух и более слоев покрытия) нижним слоем модели служит нижний существующий слой асфальтобетона при его наличии.

Общий модуль упругости нижних слоев, определяют с помощью номограммы рисунок Е.1 ПНСТ 542-2021

Прочность материала монолитного слоя при многократном растяжении при изгибе определяют по формуле 18, ПНСТ 542-2021, с учетом ОДМ 218.05.001-2009:

,

где - нормативное значение предельного сопротивления растяжению при изгибе при расчетной низкой весенней температуре при однократном приложении нагрузки (таблица Г.5, приложение Г ПНСТ 542-2021), МПа; - коэффициент, учитывающий снижение прочности вследствие усталостных явлений при многократном приложении нагрузки, (формула 19, ПНСТ 542-2021, с учетом ОДМ 218.05.001-2009):

,

– коэффициент, учитывающий снижение прочности во времени от воздействия погодно-климатических факторов (таблица 8 ПНСТ 542-2021); - коэффициент вариации прочности на растяжение, равный 0,1; *t* - коэффициент нормативного отклонения (таблица В.3, ПНСТ 542-2021); – коэффициент, учитывающий увеличение прочности вследствие армирования слоя георешеткой (ОДМ 218.05.001-2009, таблица 8); – коэффициент, учитывающий уменьшение влияния усталостных процессов на прочность, вследствие армирования асфальтобетонного покрытия геосеткой (ОДМ 218.05.001-2009, таблица 8).

Коэффициент прочности конструкции, полученный по расчету, равен:

.

# Исходные данные

Исходные данные указаны в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование | Толщина, см | Модуль на изгиб, МПа | Влажность, доли единицы | ДКЗ | m | α |
| ЩМА-16 на БНД 50/70 | 5,0 | 6450,00 | 0,683 | II | 6,00 | 5,00 |
| А22Нн на БНД 50/70 | 9,0 | 7200,00 | 6,00 | 5,00 |
| Георешетка АРМДОР100 | 0 | - | - | - |
| А32Он на БНД 50/70 | 12,0 | 6100,00 | 5,10 | 5,00 |
| Щебеночно-песчаный, обработанный жидкими органическими вяжущими | 22,0 | 450,00 | - | - |
| Щебеночная смесь С5, размер зерен 40 мм | 25,0 | 260,00 | - | - |
| Геотекстиль ГЕОСПАН ТН 80 | 0 | - | - | - |
| Щебеночная смесь С4, размер зерен 80 мм | 35,0 | 275,00 | - | - |
| Композитный материал СТАБАРМ СК 45/45 | 0 | - | - | - |
| Легкий суглинок (угол внут. трения – 6,02) |  | 44,12 |  |  |  |  |

Расчетная нагрузка – А-11,5 (P = 0,8 МПа).

Срок работ по капитальному ремонту, лет - 24

Срок работ по ремонту, лет – 12.

Параметры расчетной нагрузки:

нагрузка на колесо Q = 57,5 кН;

давление в шине P = 0,8 МПа;

диаметр штампа колеса Д = 34,5 см.

Суммарное расчетное число приложений нагрузки задано исходно и составляет 76209529,22 авт.

Толщину верхнего слоя модели принимаем равной сумме толщин, входящих в пакет асфальтобетонных слоев – 26 см.

# Определить риск разрушения монолитных слоев от растяжения при изгибе.

1. Определим расчетное растягивающее напряжение.

Модуль упругости верхнего слоя модели вычисляют как средневзвешенный по формуле 16, ПНСТ 542-2021:

МПа .

Общий модуль упругости нижних слоев, определяют с помощью номограммы рисунок Е.1 ПНСТ 542-2021:

|  |
| --- |
| = 0,425, = 0,638, = 0,6400, E 6 = 288,00 МПа |
| == 0,492, = 0,725, = 0,7152, E 5 = 191,17 МПа |
| = 0,160, = 1,014, = 0,4562, E 3 = 127,90 МПа |
| E 1 = 44,12 МПа . |

Общий модуль упругости нижних слоев – 288,00 МПа.

Расчетное растягивающее напряжение определяют по формуле 20, ПНСТ 542-2021:

= = 0,754, = 22,736, = 1,196,

МПа.

1. Определим прочность материала монолитного слоя при многократном растяжении при изгибе по формуле 18, ПНСТ 542-2021, с учетом ОДМ 218.05.001-2009:

,

- коэффициент, учитывающий снижение прочности вследствие усталостных явлений при многократном приложении нагрузки, (формула 19, ПНСТ 542-2021, с учетом ОДМ 218.05.001-2009):

0,1479 .

При расчете также учитывается армирование асфальтобетона геосинтетическим материалом, для этого вводятся коэффициенты = 1,08, учитывающий увеличение прочности и =0,82, учитывающий уменьшение влияния усталостных процессов.

Коэффициент прочности конструкции полученный по расчету, равен:

,

Требуемый коэффициент прочности, равен 1,1.

1. Определим коэффициент вариации критического растягивающего напряжения определяем по формуле (7) при коэффициентах :

*.*

1. Определим среднеквадратическое отклонение наибольшего растягивающего напряжения в рассматриваемом слое определяем по формуле (3):

.

1. Определим критическое растягивающее напряжение в монолитном слое, при котором вероятность появления трещин равна 50%, вычисляется по формуле (4):

,

.

1. Среднеквадратическое отклонение критического растягивающегося напряжения определяется по формуле (6):

.

1. Риск возникновения трещин в монолитном слое при изгибе можно определяется по формуле:

# Обсуждение результатов

Значение риска образования трещин при растяжении дорожной одежды соответствует 2,78 м2 на 10 м2 или 27789 м2 на 100 000 м2. Данная дорожная одежда будет соответствовать значению надежности, равному . Для дороги IБ технической категории надежность составляет 0,98.

Данная дорожная одежда удовлетворяет требованиям ПНСТ 542-2021 и отвечает требованиям надежности по расчету с использованием математического аппарата теории риска.

1. Оценка риска трещинообразования в типовых конструкциях дорожных одежд

Из альбома типовых конструкций дорожных одежд выбрано три варианта дорожной одежды для одной технической категории в одной дорожно-климатической зоне. Эти варианты соответствуют различным общим модулям упругости. Их можно разделить на три категории: низкий общий модуль упругости, средний общий модуль упругости и низкий общий модуль упругости.

Результаты расчетов показаны в таблицах 2, 3 и 4, соответствующих каждой категории.

Таблица 2 – Результаты расчета для дорожных одежд высокого общего модуля упругости

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Область | ДКЗ | Тех. Категория | Ев, МПа | Ен, МПа | h, см | СЕв | СЕн | Ch | Сσr | RN, МПа |
| Иркутская | 1-3 | IБ | 6561,67 | 306,65 | 30 | 0,002 | 0,002 | 0,001 | 0,241571493 | 0,864 |
| II | 6566 | 271,29 | 25 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,2696569 | 1,148 |
| III | 6728,57 | 278,04 | 21 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,279756503 | 1,12 |
| Калужская | 2-2 | IБ | 6548,08 | 288 | 26 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,195653032 | 0,924 |
| II | 6558,7 | 228,46 | 23 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,26647873 | 1,235 |
| III | 6705 | 210 | 20 | 0,05 | 0,1 | 0,05 | 0,2786695 | 1,23 |
| Р. Адыгея | 3-2 | IБ | 6579,55 | 301,95 | 22 | 0,05 | 0,08 | 0,05 | 0,200912945 | 1,007 |
| II | 6550 | 214,21 | 21 | 0,05 | 0,1 | 0,1 | 0,3207245 | 1,659 |
| III | 6728,57 | 182,39 | 21 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,260189003 | 1,307 |
| Область | ДКЗ | Тех. Категория | σr, МПа | σкр | mr | mкр | u | Риск | Допустимый риск | Надежность |
| Иркутская | 1-3 | IБ | 0,648 | 1,427916 | 0,156538 | 0,344944 | 2,058904 | 0,019752 | 0,02 | 0,98 |
| II | 0,874 | 1,916738 | 0,23568 | 0,516862 | 1,835616 | 0,033207 | 0,05 | 0,95 |
| III | 0,947 | 1,876444 | 0,264929 | 0,524948 | 1,580657 | 0,056978 | 0,08 | 0,92 |
| Калужская | 2-2 | IБ | 0,813 | 1,498661 | 0,159066 | 0,293217 | 2,055434 | 0,019919 | 0,02 | 0,98 |
| II | 1,03 | 2,059712 | 0,274473 | 0,548869 | 1,677952 | 0,046678 | 0,05 | 0,95 |
| III | 1,11 | 2,059985 | 0,309323 | 0,574055 | 1,456834 | 0,072581 | 0,08 | 0,92 |
| Р. Адыгея | 3-2 | IБ | 0,858 | 1,637021 | 0,172383 | 0,328899 | 2,097887 | 0,017958 | 0,02 | 0,98 |
| II | 1,178 | 2,815485 | 0,377813 | 0,902995 | 1,67287 | 0,047176 | 0,05 | 0,95 |
| III | 1,233 | 2,174941 | 0,320813 | 0,565896 | 1,448011 | 0,073807 | 0,08 | 0,92 |

Таблица 3 – Результаты расчета для дорожных одежд среднего общего модуля упругости

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Область | ДКЗ | Тех. Категория | Ев, МПа | Ен, МПа | h, см | СЕв | СЕн | Ch | Сσr | RN, МПа |
| Иркутская | 1-3 | IБ | 6522 | 302,65 | 25 | 0,05 | 0,05 | 0,02 | 0,212121 | 1,039 |
| II | 6550 | 271,29 | 21 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,278291 | 1,423 |
| III | 6772,22 | 212,85 | 18 | 0,05 | 0,1 | 0,05 | 0,246097 | 1,484 |
| Калужская | 2-2 | IБ | 6529,55 | 289,06 | 22 | 0,05 | 0,05 | 0,03 | 0,185052 | 1,141 |
| II | 6572,5 | 227,3 | 20 | 0,05 | 0,1 | 0,08 | 0,276658 | 1,506 |
| III | 6772,22 | 187,76 | 18 | 0,05 | 0,1 | 0,05 | 0,272441 | 1,601 |
| Р. Адыгея | 3-2 | IБ | 6572,5 | 222,81 | 20 | 0 | 0 | 0 | 0,163872 | 1,245 |
| II | 6563,89 | 197,62 | 18 | 0,05 | 0,05 | 0,08 | 0,254609 | 1,687 |
| III | 6772,22 | 192,75 | 18 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,322202 | 1,793 |
| Область | ДКЗ | Тех. Категория | σr, МПа | σкр | mr | mкр | u | Риск | Допустимый риск | Надежность |
| Иркутская | 1-3 | IБ | 0,848 | 1,697095 | 0,179879 | 0,35999 | 2,109924 | 0,017432 | 0,02 | 0,98 |
| II | 1,107 | 2,382914 | 0,308068 | 0,663142 | 1,744943 | 0,040497 | 0,05 | 0,95 |
| III | 1,449 | 2,45677 | 0,356594 | 0,604603 | 1,435714 | 0,075542 | 0,08 | 0,92 |
| Калужская | 2-2 | IБ | 1,022 | 1,841913 | 0,189124 | 0,34085 | 2,1034 | 0,017715 | 0,02 | 0,98 |
| II | 1,237 | 2,520511 | 0,342226 | 0,697319 | 1,652369 | 0,04923 | 0,05 | 0,95 |
| III | 1,499 | 2,675653 | 0,40839 | 0,728959 | 1,408219 | 0,079533 | 0,08 | 0,92 |
| Р. Адыгея | 3-2 | IБ | 1,244 | 1,990148 | 0,203857 | 0,32613 | 1,940053 | 0,026187 | 0,02 | 0,98 |
| II | 1,466 | 2,801637 | 0,373257 | 0,713323 | 1,659016 | 0,048556 | 0,05 | 0,95 |
| III | 1,489 | 3,044213 | 0,479759 | 0,980851 | 1,424323 | 0,077176 | 0,08 | 0,92 |

Таблица 4 – Результаты расчета для дорожных одежд низкого общего модуля упругости

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Область | ДКЗ | Тех. Категория | Ев, МПа | Ен, МПа | h, см | СЕв | СЕн | Ch | Сσr | RN, МПа |
| Иркутская | 1-3 | IБ | 6550 | 287,24 | 21 | 0,05 | 0,1 | 0,05 | 0,206543 | 1,318 |
| II | 6563,89 | 246,59 | 18 | 0,12 | 0,15 | 0,1 | 0,282691 | 1,822 |
| III | 7200 | 203,17 | 14 | 0,12 | 0,15 | 0,1 | 0,293152 | 2,966 |
| Калужская | 2-2 | IБ | 6572,5 | 242,17 | 20 | 0,05 | 0,04 | 0,03 | 0,199544 | 1,41 |
| II | 6563,89 | 193,89 | 18 | 0,09 | 0,1 | 0,1 | 0,307526 | 1,962 |
| III | 7200 | 202,47 | 13 | 0,12 | 0,15 | 0,1 | 0,277487 | 3,342 |
| Р. Адыгея | 3-2 | IБ | 6563,89 | 217 | 18 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,21176 | 1,538 |
| II | 6950 | 198,19 | 15 | 0,12 | 0,15 | 0,1 | 0,302806 | 3,293 |
| III | 7200 | 200,17 | 13 | 0,12 | 0,15 | 0,1 | 0,279902 | 3,322 |
| Область | ДКЗ | Тех. Категория | σr, МПа | σкр | mr | mкр | u | Риск | Допустимый риск | Надежность |
| Иркутская | 1-3 | IБ | 1,089 | 2,147764 | 0,224925 | 0,443606 | 2,128723 | 0,016639 | 0,02 | 0,98 |
| II | 1,379 | 3,055566 | 0,389831 | 0,863781 | 1,769139 | 0,038435 | 0,05 | 0,95 |
| III | 2,004 | 4,991132 | 0,587476 | 1,463158 | 1,894556 | 0,029076 | 0,08 | 0,92 |
| Калужская | 2-2 | IБ | 1,216 | 2,290798 | 0,242646 | 0,457116 | 2,076806 | 0,01891 | 0,02 | 0,98 |
| II | 1,474 | 3,316545 | 0,453293 | 1,019923 | 1,650852 | 0,049384 | 0,05 | 0,95 |
| III | 2,171 | 5,594896 | 0,602423 | 1,552508 | 2,056034 | 0,01989 | 0,08 | 0,92 |
| Р. Адыгея | 3-2 | IБ | 1,239 | 2,511779 | 0,262371 | 0,531895 | 2,146028 | 0,015935 | 0,02 | 0,98 |
| II | 1,849 | 5,558344 | 0,559887 | 1,683097 | 2,091211 | 0,018255 | 0,05 | 0,95 |
| III | 2,179 | 5,565939 | 0,609905 | 1,557915 | 2,024415 | 0,021464 | 0,08 | 0,92 |

Выводы

Исходя из расчетов, полученных с помощью формул теории риска, большая часть (более 95%) типовых конструкций соответствует уровню заданной надежности, несмотря на то, что все из них соответствуют требованиям ПНСТ 542-2021.

Это может говорить о том, что современные нормативные материалы рекомендательного характера не учитывают статистические методы оценки риска.

Следовательно, требования этих нормативных документов намеренно являются заниженными, что может привести к строительству конструкций, фактически не отвечающих требованиям надежности.

**Библиографический список**

1. Примеры расчета геометрических, транспортно-эксплуатационных и прочностных параметров автомобильных дорог на основе теории риска монография: Ч. I. Проектирование/ В.В. Столяров, А.В. Щеголева, Н.Е. Кокодеева, А.В. Кочетков; под общ. ред. В.В. Столярова. Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2017. 272 с. ISBN 978-5-7433-3197-0.
2. The procedure of analysis, assessment and risk reduction of vehicle collisions on a multi-lane road // Щеголева N.V., Stolyarov V.V., Kochetkov A.V. / Russian Journal of Building Construction and Architecture. 2021. № 3 (51). С. 93-103.
3. Impact study of basalt and polyacrylonitrile fibers on performance characteristics of asphalt concrete // Andronov S., Kokodeeva N., Vasiliev Y., Kotlyarsky E., Kochetkov A. / Advances in Intelligent Systems and Computing. 2021. Т. 1258. С. 473-485.
4. Анализ дефектов и повреждений материалов в конструкциях дорожных одежд автомобильных дорог промышленных предприятий и способы их устранения // Бондарев Б.А., Бондарев А.Б., Борков П.В. и др. / Строительные материалы. 2023. № 6. С. 70-74.
5. Дорожно-испытательный комплекс для проведения ускоренных испытаний дорожных одежд // Конорев А.С., Мирончук С.А., Еременко Е.А., Подгорнов М.Н. /Дороги и мосты. 2023. № 2 (50). С. 43-60. 0
6. Анализ георадиолокационного оборудования по результатам сопоставительных испытаний // Кулижников А.М., Еремин Р.А., Пудова Н.Г.

/ Дороги и мосты. 2023. № 2 (50). С. 63-78.

1. Обоснование расчетного колесного контактного давления для проектирования дорожных одежд по критериям прочности // Арус Н.Н., Горячев М.Г., Каленова Е.В. / Наука и техника в дорожной отрасли. 2022. № 2. - С. 20-23.
2. О влиянии слоя композита на основе геосотового материала на работу дорожной одежды // Москалев О.Ю., Малышев Е.В., Кокодеева Н.Е. / Дороги и мосты. 2014. № 2(32). С. 55-69.
3. Probabilistic life assessment of non-rigid pavements reinforced with geosynthetic materials // Kokodeeva N.Ye. Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture. 2016. № 4 (32). С. 46-51.
4. Development of typical flexible road pavement catalog for regional and intermunicipal highways in russian federation (Using the example of the republic of Bashkortostan) // Uschakov V., Gorbachev M., Lugoff S., Kudryavtsev A., Yarkin S. / В сборнике: E3S Web of Conferences Volume 274 (2021). 2nd International Scientific Conference on Socio-Technical Construction and Civil Engineering (STCCE - 2021). France, 2021. С. 2010.
5. About war courses and concrete pavementsabrasion of highways // Ushakov V., Goryachev M., Diakov G., Yarkin S. / В сборнике: Lecture Notes in Civil Engineering. Proceedings of STCCE 2021.Selected Papers. Switzerland, 2021. С. 343-350.
6. Field evaluation of rotting in concrete pavements // Ушаков V., Dyakov G., Dmitriev S., Goryachev M., Jelatin D. / В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019 International Conference on Digital Solutions for Automotive Industry, Roadway Maintenance and Traffic Control, DS ART 2019. BRISTOL, 2020. С. 012033.
7. Refined assessment of strength of concrete pavement probabilistic method // Степашин A.P., Chistyakov I.V., Gorbachev M.G., Sadovnikova Y.S., Kyaing A.K. / В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019 International Conference on Digital Solutions for Automotive Industry, Roadway Maintenance and Traffic Control, DS ART 2019. BRISTOL, 2020. С. 012037.