**УДК 625.7/.8**

**Оценка риска разрушения дорожной одежды
на растяжение при изгибе на участке
автомобильной дороги М 4 «дон» км 1194+900-км 1199+151**

**Я.М. Белозеров**

***Саратовский государственный технический
университет имени Гагарина Ю.А.***

***Аннотация.*** *В статье представлен расчет на прочность конструкции автомобильной дороги М 4 «Дон» по допускаемым напряжениям на растяжение при изгибе в монолитных слоях. Проведена проверка существующей дорожной одежды по условию образования трещин при изгибе. Проверка ведется по критерию максимальных растягивающих напряжений на подошве слоя по оси нагрузки. Данная работа направлена на сравнение фактического состояния дорожной одежды на участке автомобильной дороги М 4 «Дон» км 1194+900 – км 1199+151, и прогнозируемого. 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*

**assessment of the risk of pavement
destrUction by bending tension on m 4 «don»
highway km 1194+900-km 1199+151 section**

**Ya.M. Belozerov**

***Yuri Gagarin State Technical University of Saratov***

***Abstract.*** *The article presents a calculation of the structural strength of the M-4 «Don» highway according to the permissible tensile stresses during bending in monolithic layers. An inspection of the existing pavement was carried out 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 comparing the actual condition of the pavement on the section of the M 4 «Don» highway km 1194+900 – km 1199+151, and predicted using the risk theory. It is taken into account that the distribution of tensile stresses in a monolithic layer during bending does not contradict the normal distribution law.*

***Keywords:*** *road, surface, design, risk, load, damage, crack, bend*

# **Введение**

Автомобильная дорога М 4 «Дон» относится к федеральным магистральным дорогам. Участок автомобильной дороги М 4 «Дон» км 1194+900 – км 1199+151 (прямое и обратное направление) с транспортной развязкой в разных уровнях индивидуального типа введен в эксплуатацию в 2009 г. Участок соответствует параметрам автомобильной дороги IБ категории. Протяженность участка прямого хода составляет 4103 м.

Данный участок автомобильной дороги перестал соответствовать нормативным параметрам к 2023 году, из-за чего потребовался капитальный ремонт. На стадии изысканий было проведено комплексное обследование участка, и выявлены многочисленные дефекты.

Применив формулы теории риска, мы можем сравнить фактическое состояние автомобильной дороги и прогнозируемое. Используя данные о дорожной одежде, климате и интенсивности, мы можем получить риск образования трещин в монолитном слое дорожной одежды. Полученный риск показывает, какая площадь автомобильной дороги будет разрушена трещинами к концу срока службы. Сравнив полученный риск с фактическими данными о трещинах, мы можем определить эффективность применения теории риска на этапе проектирования дорожной одежды.

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 на участке автомобильной дороги М-4 «Дон» по данным обследования, а также сравнение фактического состояния участка дороги с прогнозируемым.

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

# **Метод решения**

# Проведено сравнение фактического состояния участка автомобильной дороги М-4 «Дон» с прогнозируемым расчётным состоянием покрытия. Теория риска позволяет прогнозировать риск возникновения трещин в проектируемой дорожной одежде. По результатам обследования была рассчитана общая площадь участков дороги, покрытых трещинами, и фактический риск возникновения трещин. Расчётный риск был получен с помощью данных обследования о конструкции дорожной одежды, методики ПНСТ 542-2021 и формул теории риска. Методика расчёта описана в работе [9]. Далее, было проведено сравнение фактического и расчётного риска и сделаны выводы.

Расчёт риска представлен далее.

*Расчёт нежесткой дорожной одежды
с использованием математического аппарата теории риска*

# **1. 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 |
| А16Вн на БНД 50/70 | 25,0 | 7200,00 | 0,805 | II | 6,00 | 5,60 |
| Щебеночная смесь С5, размер зерен 40 мм | 75,0 | 260,00 |  |  |
| Легкий суглинок (угол внутр. трения – 2,48) |  | 28,64 |  |  |  |  |

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 = 57,50 кН;

Давление в шине P = 0,80 МПа;

Диаметр штампа колеса Дд = 34,50 см;

Диаметр штампа колеса от статической нагрузки Дст = 30,30 см.

Приведенное значение интенсивности задано исходно и составляет 16047,20, ед./сут.

Толщину верхнего слоя модели принимаем равной сумме толщин, входящих в пакет асфальтобетонных слоев – 25 см.

Суммарное расчетное число приложений нагрузки за срок службы до капитального ремонта 24 определяют по формуле 6 ПНСТ 542-2021:

 $∑N\_{p}=0,7 N\_{p}\frac{К\_{с}}{q^{(T^{сл}-1)}}Т\_{рдг}k\_{n}=0,7∙16047,20∙\frac{1672822,31}{1,800^{24-1}}∙205∙1,62=$ 8393602,04,

где Кс=$\frac{q^{T\_{сл}}-1}{q-1}$ = 1672822,31

$Т\_{рдг}$ – количество дней в году, соответствующих определенному состоянию деформируемости конструкции, равное 205 (таблица 3 и рисунок 1 ПНСТ 542-2021);

$k\_{n}$ – коэффициент, учитывающий вероятность отклонения суммарного движения от среднего ожидаемого, равный 1.62 (таблица 4 ПНСТ 542-2021).

# **2. 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:

 $E\_{в}=\frac{\sum\_{i=1}^{n}E\_{i}∙h\_{i}}{\sum\_{i=1}^{n}h\_{i}}=\frac{7200\*25}{225}=7200,00$МПа.

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

 $\frac{E\_{1}}{E\_{2}}=\frac{28,64}{260}$= 0,110, $\frac{h}{D}=\frac{75}{34,5}$ = 2,174, $\frac{E\_{общ}}{E\_{в}}$= 0,58, E 3 = 150,80 МПа

 E 1 = 28,64 МПа.

Общий модуль упругости нижних слоев – 150,80 МПа.

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

 $\frac{h}{D}$=$\frac{25}{34,5}$ = 0,725, $\frac{E\_{в}}{E\_{общ.осн}}=\frac{7200}{150,80}$ = 47,745, $\overline{σ}\_{r}$= 1,5,

 $σ\_{r}=\overline{σ}\_{r}∙p∙k\_{в}=1,5∙0,80∙0,85=1,02$ МПа.

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

 $R\_{n}=R\_{0}∙k\_{1}∙k\_{2}∙k\_{a}∙\left(1- γ\_{r}∙t\right)=$

 $= 9,80∙0,3928∙0,85∙1,00∙\left(1-0,1 ∙2,19\right)=2,556 МПа$,

$k\_{1}$ – коэффициент, учитывающий снижение прочности вследствие усталостных явлений при многократном приложении нагрузки (формула (19), ПНСТ 542-2021, с учетом ОДМ 218.05.001-2009):

 $k\_{1}=\frac{α}{\sqrt[m]{∑N\_{p}∙k\_{np}}}=\frac{5,60}{\sqrt[6,00]{8393602,04∙1,00}}=$ 0,3928.

Коэффициент прочности конструкции, полученный по расчету, равен:

 $K\_{пр}=\frac{R\_{N}}{σ}=\frac{2,556}{1,020}=2,505$,

Требуемый коэффициент прочности, равен 1,1.

3. Определим коэффициент вариации критического растягивающего напряжения определяем по формуле (7) при коэффициентах, соответствующих уровню строительства «отлично» $C\_{V}^{E\_{B}}=0,12; C\_{V}^{E\_{H}}=0,1; C\_{V}^{h}=0,15$:

 $C\_{V}^{σ\_{r}}=0,35\left(C\_{V}^{E\_{B}}-0,15\right)+0,40\left(C\_{V}^{E\_{H}}-0,2\right)+0,75\left(C\_{V}^{h}-0,15\right)+4,79\*10^{-5}\*$

 $E\_{B}-1,05\*10^{-3}\*E\_{H}+1,64\*10^{-2}\*h$

$$=0,35\left(0,12-0,15\right)+0,40\left(0,1-0,2\right)+0,75\left(0,15-0,15\right)+4,79\*10^{-5}\*$$

 $7200-1,05\*10^{-3}\*150,80+1,64\*10^{-2}\*25=0,546$

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

 $m\_{r}=C\_{v}^{σ\_{r}}\*σ\_{r}=0,546\*1,02=0,557 МПа$.

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

 $σ\_{КР}=2R\_{N}-\frac{\sqrt{R\_{N}^{2}+\left[25\left(C\_{V}^{σ\_{КР}}\right)^{2}-1\right]\left(R\_{N}^{2}-25m\_{N}^{2}\right)}-R\_{N}}{25\left(C\_{V}^{σ\_{КР}}\right)^{2}-1}=$

 $2\*2,556 -\frac{\sqrt{2,556\_{}^{2}+\left[25\left(0,546\right)^{2}-1\right]\left(2,556\_{}^{2}-25\*0,256\_{}^{2}\right)}-2,556}{25\left(0,546\right)^{2}-1}=4,55 МПа$,

$m\_{N}=0,1\*R\_{N}=0,1\*2,556=0,256 МПа$.

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

$m\_{КР}=C\_{V}^{σ\_{КР}}\*σ\_{КР}=0,546\*4,55=2,48 МПа$.

7. Риск возникновения трещин в монолитном слое при изгибе можно определить по формуле

 $r=0,5-Ф\left(\frac{σ\_{КР}-σ\_{r}}{\sqrt{m\_{КР}^{2}+m\_{r}^{2}}}\right)=0,5-Ф\left(\frac{4,55-1,02}{\sqrt{2,48\_{}^{2}+0,557\_{}^{2}}}\right)=$

 $0,5-Ф\left(1,39\right)=0,5-0,417204=0,0828.$

# **3. Обсуждение результатов**

Значение риска образования трещин при растяжении дорожной одежды соответствует 8,28 м2 на 100 м2 или 82800 м2 на 100 000 м2. Данная дорожная одежда будет соответствовать значению надежности, равному $P=1-r=1-0,0828=0,9172$. Для дороги IБ технической категории надежность составляет 0,98.

Данная дорожная одежда удовлетворяет требованиям ПНСТ 542-2021, кроме требования модуля упругости для грунта земляного полотна, но не отвечает требованиям надежности при расчёте с помощью формул теории риска.

4. Сравнение фактического риска образования трещин и проектного

Из результатов обследования участка прямого хода км 1194+900 – км 1199+151 автомобильной дороги М 4 «Дон» было выявлено, что общая площадь проезжей части участка составляет 30772,5 м2. Площадь участка, покрытого трещинами, составляет 2495,96 м2. Следовательно, значение фактического риска соответствует 8,11 м2 на 100 м2, или 0,0811. Данное значение является близким к проектному, что подтверждает эффективность применения теории риска на этапе проектирования

Выводы

Исходя из расчетов, полученных с помощью формул теории риска, исследуемый участок автомобильной дороги не соответствует требованиям надёжности. В ходе эксплуатации автомобильной дороги, это подтвердилось. Будучи приведён в эксплуатацию в 2009 году, данный участок автомобильной дороги М 4 «Дон» потерял заданную прочность к 2023 году, что соответствует 14 году эксплуатации. В результате потребовался капитальный ремонт задолго до 24 года эксплуатации.

**СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

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. Щеголева N.V., Stolyarov V.V., Kochetkov A.V. The procedure of analysis, assessment and risk reduction of vehicle collisions on a multi-lane road // 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.

6. Кулижников А.М., Еремин Р.А., Пудова Н.Г. Анализ георадиолокационного оборудования по результатам сопоставительных испытаний // Дороги и мосты. 2023. № 2 (50). С. 63-78.

7. Арус Н.Н., Горячев М.Г., Каленова Е.В. Обоснование расчетного колесного контактного давления для проектирования дорожных одежд по критериям прочности // Наука и техника в дорожной отрасли. 2022. № 2. С. 20-23.

8. Москалев О.Ю., Малышев Е.В., Кокодеева Н.Е. О влиянии слоя композита на основе геосотового материала на работу дорожной одежды // Дороги и мосты. 2014. № 2 (32). С. 55-69.

9. Столяров В.В., Белозеров Я.М., Валиев Ш.Н. Расчет риска разрушения дорожной одежды по допускаемым напряжениям на растяжение при изгибе в монолитных слоях // Техническое регулирование в транспортном строительстве. 2024. № 1 (64); URL: trts.esrae.ru/93-682 (дата обращения: 18.11.2024).

10. Kokodeeva N.Ye. Probabilistic life assessment of non-rigid pavements reinforced with geosynthetic materials // Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture. 2016. № 4 (32). С. 46-51.

11. 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. // E3S Web of Conferences Volume 274 (2021). 2nd International Scientific Conference on Socio-Technical Construction and Civil Engineering (STCCE – 2021). France, 2021. С. 2010.

12. About war courses and concrete pavementsabrasion of highways // Ushakov V., Goryachev M., Diakov G., Yarkin S. // Lecture Notes in Civil Engineering. Proceedings of STCCE 2021.Selected Papers. Switzerland, 2021. С. 343-350.

13. Field evaluation of rotting in concrete pavements // Ушаков V., Dyakov G., Dmitriev S., Goryachev M., Jelatin D. // 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.

14. Refined assessment of strength of concrete pavement probabilistic method / Степашин A.P., Chistyakov I.V., Gorbachev M.G., Sadovnikova Y.S., Kyaing A.K. // 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.