

Научная статья
УДК 625.7/.8

РАСЧЕТ АРМИРОВАННЫХ НЕЖЕСТКИХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

Алексей Вячеславович Моцный¹, Алексей Юрьевич Шаров²

^{1,2} Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия

¹ motsnyj31@gmail.com

² shaiu1972@mail.ru

Аннотация. Колееобразование является наиболее распространенной проблемой на дорогах в настоящее время. Армированные нежесткие дорожные одежды предлагают решение проблемы через использование специальных геосинтетических материалов. В статье представлен расчет и сравнение армированной дорожной одежды.

Ключевые слова: автомобильные дороги, дорожная одежда, геосинтетические материалы

Для цитирования: Моцный А. В., Шаров А. Ю. Расчет армированных нежестких дорожных одежд // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России = Scientific creativity of youth to the forest complex of Russia : материалы XXI Всероссийской (национальной) научно-технической конференции студентов и аспирантов. Екатеринбург : УГЛТУ, 2025. С. 780–784.

Original article

CALCULATION OF REINFORCED NON-RIGID ROAD CLOTHES

Alexey V. Motsnyi¹, Alexey Yu. Sharov²

^{1,2} Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, Russia

¹ motsnyj31@gmail.com

² shaiu1972@mail.ru

Abstract. Rutting is the most common problem on roads today. Reinforced non-rigid pavements offer a solution to the problem through the use of special geosynthetic materials. The paper presents the calculation and comparison of reinforced pavements.

Keywords: highways, pavements, geosynthetic materials

For citation: Motsnyi A. V., Sharov A. Yu. (2025) Raschet armirovannyh nezhestkih dorozhnyh odezhd [Calculation of reinforced non-rigid road clothes].

Nauchnoe tvorchestvo molodezhi – lesnomu kompleksu Rossii [Scientific creativity of youth to the forest complex of Russia] : proceedings of the XXI All-Russian (national) Scientific and Technical Conference of undergraduate and postgraduate students. Ekaterinburg : USFEU, 2025. Pp. 780–784. (In Russ).

В современной инженерной практике разработка и развитие дорожной инфраструктуры является одной из главных задач. Качество и долговечность дорожных покрытий играют ключевую роль в обеспечении безопасности и комфорта транспортного движения, а также в сокращении эксплуатационных расходов и негативного влияния на окружающую среду.

Выбор типа дорожной одежды является одним из важных аспектов в создании дорожных покрытий. В настоящее время наиболее распространены два типа конструкций: жесткая и нежесткая дорожная одежда. Жесткая дорожная одежда, такая как монолитные покрытия из цементобетона или сборные железобетонные и армобетонные плиты, обладает некоторыми недостатками и требует дополнительных технологий, таких как установка швов сжатия-растяжения. Нежесткая дорожная одежда, которую составляют слои асфальтобетона, минеральных материалов и грунтов, укрепленных органическими вяжущими, также имеет свои проблемы, включая образование колеи, что требует регулярного технического обслуживания и ремонта дороги.

Одной из основных причин образования колеи является перенапряжение монолитных слоев. Чтобы избежать этого дефекта, необходимо, чтобы в монолитных слоях дорожной одежды напряжения, возникающие при прогибе под действием повторных кратковременных нагрузок, не приводили к появлению трещин в течение эксплуатации конструкции.

С развитием технологий появился новый тип конструкций – армированные нежесткие дорожные одежды, которые обладают рядом преимуществ по сравнению с традиционными конструкциями. Они используют специальные армированные материалы, такие как геосинтетические материалы, стекловолокно или пластичные армированные полимеры. Важной особенностью таких материалов является их высокая прочность и устойчивость к деформациям, что позволяет создавать более долговечные дорожные покрытия.

При разработке армированных нежестких дорожных одежд следует внести изменения в существующий метод оценки сопротивления монолитных слоев усталостному разрушению при изгибе. Тем не менее другие параметры прочности, такие как допустимый упругий прогиб, сдвиговая устойчивость грунтов и слоев дорожного покрытия, а также морозостойкость конструкции, остаются без изменений.

В соответствии с ОДН 218.046-01* расчет монолитного слоя для обеспечения устойчивой работы при многократной нагрузке без нарушения структуры материала производится следующим образом.

1. Преобразуют реальную структуру в двухслойную модель.

2. Максимальное растягивающее напряжение в верхнем монолитном слое σ_r рассчитывается на основе нагрузки, действующей на поверхность одежды, с использованием следующей формулы:

$$\sigma_r = \frac{4E_{a.б}}{\pi(1-\mu_{a.б})} \frac{h}{D} \frac{\omega_0}{D} \operatorname{arctg}^2 \frac{D}{h_s}. \quad (1)$$

3. Определяют допустимое растягивающее напряжение $R_{узз} (\sigma_r^{\text{дон}})$ с помощью расчета, применяя формулу:

$$\sigma_r^{\text{дон.арм}} = R_N^{\text{арм}} = K_{\text{арм}} \left(1 - a \ln \left(\frac{\sum N_p k_1}{2} \right) \right) \bar{R}_{узз} (1 - v_R t) k_2. \quad (2)$$

4. Выполняют проверку надежности структуры. Если $\sigma_r > R_{узз}^N$, дорожная одежда нуждается в укреплении, которое можно реализовать за счет увеличения толщины конструктивных слоев, повышения модуля упругости базы, замены слоя покрытия асфальтобетоном с повышенным сопротивлением растяжению либо путем введения армирующих геоматериалов.

Рассмотрим пример расчета конструкции дорожной одежды на усталостное разрушение монолитных слоев от растяжения при изгибе для трех видов конструкции: без армирования, без армирования с увеличением толщины конструктивных слоев и с армированием. В качестве расчетной предложена следующая конструкция дорожной одежды:

- 1 – асфальтобетон горячий плотный тип Б, марка П, $h = 5$ см;
- 2 – асфальтобетон горячий пористый мелкозернистый, $h = 6$ см;
- 3 – асфальтобетон горячий пористый крупнозернистый, $h = 6$ см;
- 4 – щебень, фр. 40–80 мм легкоуплотняемый (известняковый) с заклиной фракционированным мелким щебнем, $h = 35$ см;
- 5 – песок средней крупности, $h = 15$ см.

Расчет конструкции без армирования:

а) приводим конструкцию к модели с двумя слоями.

Общий модуль упругости нижних слоев $E_n = 200,13$ МПа.

Средний модуль упругости верхних слоев $E_s = 2611,76$ МПа.

Общая толщина монолитных слоев составляет 17 см.

Расчетный предел прочности на растяжение при изгибе $R_0 = 4,29$ МПа;

б) максимальное растягивающее напряжение составляет $\bar{\sigma}_r = 1,08$.

* ОДН 218.046–01. Проектирование нежестких дорожных одежд. М., 2001. 148 с.

Расчетное растягивающее напряжение σ_r составит: $\sigma_r = 0,92$;

в) прочность материала монолитного слоя при многократном растяжении при изгибе составляет $R_N = 0,651$;

г) тогда коэффициент прочности равен: $K_{np} = \frac{R_N}{\sigma_r} = \frac{0,651}{0,92} = 0,71$, что

меньше, чем $K_{np}^{mp} = 1,0$, следовательно, выбранная конструкция не соответствует критерию прочности на усталостное трещинообразование.

Расчет конструкции без армирования с увеличением толщины конструктивных слоев. Применяем модифицированную конструкцию дорожной одежды:

1 – асфальтобетон горячий плотный тип Б, марка II, $h = 7$ см;

2 – асфальтобетон горячий пористый мелкозернистый, $h = 7$ см;

3 – асфальтобетон горячий пористый крупнозернистый, $h = 8$ см;

4 – щебень, фр. 40–80 мм легкоуплотняемый (известняковый) с заклинкой фракционированным мелким щебнем, $h = 35$ см;

5 – песок средней крупности, $h = 15$ см;

а) приводим конструкцию к двухслойной модели.

Общий модуль упругости нижних слоев – $E_n = 188,05$ МПа.

Средний модуль упругости верхних слоев – $E_b = 2645,45$ МПа.

Общая толщина монолитных слоев составляет 22 см.

Расчетный предел прочности на растяжение при изгибе $R_0 = 4,29$ МПа;

б) максимальное растягивающее напряжение $\bar{\sigma}_r = 0,814$.

Расчетное растягивающее напряжение $\sigma_r = 0,692$;

в) прочность материала монолитного слоя при многократном растяжении при изгибе составляет $R_N = 0,699$;

г) тогда коэффициент прочности равен: $K_{np} = \frac{R_N}{\sigma_r} = \frac{0,699}{0,692} = 1,01$, что

больше, чем требуемый коэффициент прочности $K_{np}^{mp} = 1,0$, следовательно, выбранная конструкция удовлетворяет данному критерию прочности.

Расчет конструкции с армированием

Чтобы повысить усталостную прочность дорожного покрытия, добавим дополнительный слой, например из стекловолоконной геосетки марки «СТ–50/50» с ячейкой размером 37,5×37,5 мм. Армирующий слой будет размещен на нижнем слое асфальтобетонного покрытия, выполненном из крупнозернистой пористой асфальтобетонной смеси.

Коэффициент армирования при расчетной температуре составит:

$K_{ар.м} = 1,039$.

Прочность материала монолитного армированного слоя при многократном растяжении при изгибе по формуле (2): $\sigma_r^{дон.арм} = R_N^{арм} = 0,710$.

Коэффициент прочности равен: $K_{np} = \frac{R_N}{\sigma_r} = \frac{0,710}{0,692} = 1,03 \geq 1,00$, таким об-

разом, предложенная конструкция армированной дорожной одежды соответствует указанному критерию прочности.

Использование армирующей прослойки из геосинтетических материалов в конструкции нежесткой дорожной одежды, соответствующей всем стандартам прочности, способствует увеличению межремонтных сроков и общему сроку службы покрытия.

Согласно приказу № 157 от 01.11.2007 г., расчетный срок эксплуатации стандартной конструкции нежестких дорожных одежд, не оснащенной армирующими материалами, составляет 12 лет.

Суммарное расчетное число приложений расчетной нагрузки к точке на поверхности конструкции за срок службы $\sum N_p = 1\ 103\ 457$ авт.

Рассчитаем максимальную расчетную нагрузку, которая может быть приложена к комплексу армированных асфальтобетонных слоев, используя следующую формулу:

$$\sum N_p^{арм} = 2 \left(\sum N_p e^{\frac{K_{арм}-1}{a}} \right)^{\frac{1}{K_{арм}}}, \quad (3)$$

$$\sum N_p^{арм} = 2578710 \text{ авт.}$$

В связи с вышеизложенным срок службы нежесткой дорожной одежды с армированным асфальтобетонным покрытием может быть определен согласно следующей зависимости:

$$T_{сл}^{арм} = \kappa_2 \log_q \left(1 + \frac{q^{(t-1)}(q-1)\sum N_p^{арм}}{0,7 N_{p,t} T_{pдз} \kappa_n} \right), \quad (4)$$

$$T_{сл}^{арм} = 17 \text{ лет.}$$

Основываясь на вышеприведенных вычислениях, можно наглядно увидеть преимущества армированных нежестких дорожных одежд. Полученная конструкция дорожной одежды с армирующей вставкой позволяет добиться нужной прочности с меньшим использованием материала и увеличивает срок службы нежестких дорожных одежд. Армированные нежесткие дорожные покрытия представляют собой перспективное решение, которое позволяет улучшить качество дорожных покрытий, повысить безопасность и комфорт транспортного движения, а также снизить эксплуатационные затраты. Использование новых технологий и материалов в данной области является важным шагом в развитии инженерной практики и будет способствовать улучшению состояния дорожных сетей в целом.