

УДК 625.711

И. И. Тумашик

Белорусский государственный технологический университет

РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД ЛЕСНЫХ ДОРОГ

Дорожные одежды с грунтовыми слоями обладают упруговязкими и вязкопластичными свойствами, поэтому деформации и разрушения их происходят не мгновенно, а в течение времени, которое определяет долговечность. При взаимодействии дорожных одежд с подвижными нагрузками часть деформаций развивается в течение короткого промежутка времени, часть деформаций медленно развивается во времени. Эти деформации характерны для дисперсных многофазных систем, к числу которых относятся грунты. Дорожные одежды нежесткого типа разрушаются при достижении ими предельных деформаций, поэтому их долговечность прямо пропорциональна времени, в течение которого достигается заданная деформация. Предложена зависимость для определения долговечности применительно к нежестким дорожным одеждам грунтовых лесных дорог. В результате проведенных исследований установлено, что долговечность и работоспособность дорожной одежды зависят от структурно-механических свойств материала покрытия, состава и скорости движения, а также от продолжительности периода эксплуатации дороги.

Ключевые слова: дорожная одежда, лесная дорога, надежность, прочность, долговечность, срок службы.

I. I. Tumashik

Belarusian State Technological University

THE ABILITY OF WORK ROAD PAVEMENT FOREST ROADS

Road pavement with ground layers have elastic-viscous and viscous-plastic properties, so the deformation and destruction of their not occur instantaneously, but over the any time, which determines the durability. The reaction of road clothes with moving loads of the strain developed in a short period, part of the strain develops slowly over time. These deformations are characteristic of disperse multiphase systems, which include soils. Road pavement types are destroyed when they reach the limit of deformation, so they are durableness is directly proportional to the time during which a given strain is achieved. A dependence for determining the durability of road with respect to the nonrigid clothes unpaved forest roads. The studies found that the performance and durability of the pavement depends on the structural and mechanical properties of the coating material composition and velocity as well as the duration of the period of operation of the road.

Key words: road pavement, forest road, safety, strength, durability, life span.

Введение. При освоении лесных массивов транспортные пути проходят по территории, где грунты зачастую имеют малую несущую способность. Это обуславливает проблему обеспечения прочности и устойчивости лесных дорог с учетом воздействия лесовозного автотранспорта и условий эксплуатации. Характеристики транспортных путей в таких условиях в основном зависят от степени учета водно-теплового режима земляного полотна и, особенно, конструктивного решения дорожной одежды и ее работоспособности. К основным факторам, влияющим на состояние лесных дорог, относятся динамические и статические нагрузки от подвижного состава, собственный вес грунта земляного полотна и материала дорожной одежды [1, с. 216].

Каждый из указанных факторов в действительности в различной степени влияет на эксплуатационное состояние дорог. При неблагоприятном их сочетании нарушается ровность и

прочность дорожной одежды, что вызывает снижение скорости движения и производительности транспорта на вывозке заготовленного леса; уменьшается пропускная способность и увеличивается себестоимость перевозок.

Это явление связано с природой в основном следующих процессов:

- появление необратимых изменений в структуре материалов дорожного покрытия;
- появление разрушений покрытия (деформации от воздействия подвижного состава, пуцинообразование, чрезмерное увлажнение грунта земляного полотна и т. д.);
- неравномерный износ покрытия, зависящий от неравномерной прочности и износостойкости материала, изменения по длине пути величин нормальных и касательных напряжений в плоскости следа колеса и т. д. [2, с. 89].

Основная часть. Под работоспособностью дорожной одежды понимают свойство одежды

как инженерного сооружения удовлетворять в данный момент времени основным требованиям автомобильного движения. Применительно к лесным дорогам работоспособность дорожной одежды (В) может быть с известным приближением определена по величине грузо-напряженности

$$B = \sum_1^T Q_i, \quad (1)$$

где T – срок службы одежды от момента сдачи дороги в эксплуатацию до ремонта или между двумя ремонтами, лет; Q_i – годовая грузо-напряженность, млн. брутто-тонн. Грузонапряженность лесных дорог по величине грузооборота может быть определена по формуле

$$Q_i = \sum P_{\phi} N \cdot n, \quad (2)$$

где P_{ϕ} – фактическая нагрузка (вес брутто) от единицы подвижного состава данного вида, брутто-тонн; N – количество прошедших автомобилей данного типа; n – количество дней в году, в течение которых работает дорога.

Фактическая нагрузка от единицы подвижного состава данного вида определяется выражением

$$P_{\phi} = (P_{\text{бр}} - P_{\text{п}})a + P_{\text{п}}, \quad (3)$$

где $P_{\text{бр}}$ – вес автомобиля с грузом, т; $P_{\text{п}}$ – вес порожнего автомобиля, т; a – коэффициент использования грузоподъемности автомобиля.

Работоспособность и сроки службы определяются не только типом покрытия и интенсивностью движения, но конструкциями и свойствами дорожной одежды в целом, свойствами материала отдельных слоев, природными факторами, составом движения, качеством строительных и ремонтных работ. Работоспособность существенно зависит от долговечности дорожной одежды и ее отдельных слоев.

Дорожные одежды с грунтовыми слоями обладают упруговязкими и вязкопластичными свойствами, поэтому деформации и разрушения их происходят не мгновенно, а в течение времени, которое определяет долговечность.

Для нежестких дорожных одежд мгновенно-упругие и пластические деформации наблюдаются при загрузке и при разгрузке. Эти деформации характерны для дисперсных многофазных систем, к числу которых относятся грунты.

Долговечность дорожных одежд определяется как упругими, так и вязкими свойствами. Показателями, учитывающими эти свойства, являются модуль упругости и коэффициент вязкости, а также производная величина – период релаксации осадок, который характеризует время восстановления деформаций.

При испытании одежды с помощью штампа после снятия нагрузки под действием внутренних упругих сил происходит восстановление деформаций. Однако, вследствие противодействия сил вязкого сопротивления, это восстановление происходит в течение некоторого времени.

Величина упругих сил P_y может быть определена на основе теории упругости:

$$P_y = \frac{4ES}{D}, \quad (4)$$

где E – эквивалентный модуль упругости дорожной одежды, МПа, S – упругая деформация дорожной одежды, м; D – диаметр штампа, м.

Силы вязкого сопротивления прямо пропорциональны скорости восстановления деформации одежды $\frac{dS}{dt}$ и коэффициенту вязкости η . Величина сил вязкого сопротивления P_b , отнесенных к единице площади, может быть определена по зависимости

$$P_b = \frac{4\eta}{\pi D} \cdot \frac{dS}{dt}. \quad (5)$$

При восстановлении деформации имеет место равенство

$$P_y - P_b = 0. \quad (6)$$

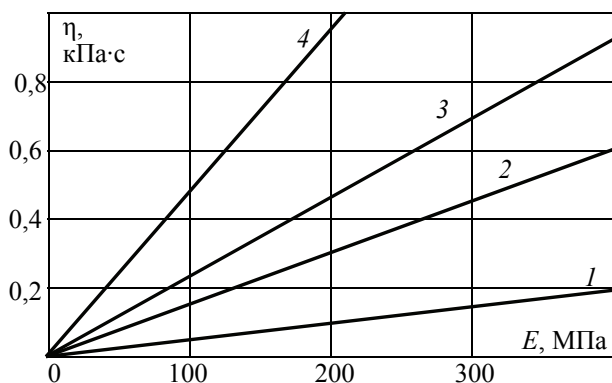
Откуда с учетом формул (4) и (5) может быть получено выражение для периода релаксации дорожной одежды

$$\frac{\eta}{E} = \frac{\pi S}{D} \cdot \frac{dS}{dt}. \quad (7)$$

Зная величину деформаций после снятия нагрузки и скорости ее восстановления на основе испытания, можно найти коэффициент вязкости и период релаксации.

На рисунке приведена зависимость между коэффициентом вязкости (η) и модулем упругости (E) для разных интервалов времени с момента снятия нагрузки. Для равных промежутков времени эта зависимость линейная. Коэффициенты корреляции, приведенные на графиках, составляют 0,90–0,97. Период релаксации, соответствующий каждому из выбранных интервалов времени, соответствует тангенсу угла наклона каждой прямой на рисунке.

Для оценки долговечности твердых тел используется ряд зависимостей. Эти зависимости предлагают экспоненциальное соотношение между долговечностью и действующей нагрузкой.



Зависимость между коэффициентом вязкости и модулем упругости дорожных одежд различных периодов выдерживания после разгрузки:

1 – 10 с; 2 – 30 с; 3 – 60 с; 4 – 120 с

Для вязких материалов время разрушения T при действии нагрузки:

$$T = A^{-\beta\sigma},$$

где A и β – коэффициенты, зависящие от свойств материалов и характера нагрузки, вызывающей напряжение σ .

Нежесткие дорожные одежды являются пластичными, т. е. фактически объединяют свойства как твердых, так и жидких тел, поэтому их долговечность определяется не только действующими нагрузками, но и периодом релаксации.

Применительно к нежестким дорожным одеждам предлагается следующая зависимость для определения долговечности

$$T = A \exp\left(-\frac{E}{\eta} P\right), \quad (8)$$

где P – нагрузка на дорожную одежду, равная расчетному давлению по следу пневматического колеса, кН.

Нежесткие дорожные одежды разрушаются при достижении ими предельных деформаций, поэтому их долговечность прямо пропорциональна времени, в течение которого достигается заданная деформация.

Ранее выполненные исследования на кафедре строительства дорог Харьковского автомобильно-дорожного института показывают наличие экспоненциальной зависимости между осадками грунтовых оснований и дорожных одежд и временем действия постоянной нагрузки [3, с. 19–23]. Анализ результатов испытания нагружением через штамп показывает, что время достижения заданной критической осадки при постоянной нагрузке экспоненциально зависит от величины нагрузки и периода релаксации [4, с. 17–18].

Время воздействия нагрузки за один проезд колеса автомобиля

$$t_1 = \frac{D}{V}, \quad (9)$$

где D – диаметр площади отпечатка колеса расчетного автомобиля, м; V – скорость движения автомобиля, м/с.

За время n дней с интенсивностью движения N автомобилей в сутки суммарное время воздействия на дорогу

$$t_n = N \cdot \frac{D}{V} \cdot n, \quad (10)$$

где N – приведенная интенсивность движения к расчетному автомобилю.

То же за m лет:

$$t_m = nN \cdot \frac{D}{V} \cdot mk, \quad (11)$$

где k – коэффициент, учитывающий неравномерность интенсивности движения по годам за период t_m . Полагая, что за время m лет наступит предельное состояние одежды по основным эксплуатационным качествам, запишем

$$T_1 = nN \cdot \frac{D}{V} \cdot mk. \quad (12)$$

Подставив в уравнение (12) значение T_1 из формулы (8), получим

$$A \exp\left(-\frac{E}{\eta} P\right) = nN \cdot \frac{D}{V} \cdot mk. \quad (13)$$

Эта зависимость может быть использована для оценки долговечности и работоспособности дорожных одежд.

Так, задавая $\frac{E}{\eta} P$ – величиной, обратной

периоду релаксации, получим величину долговечности в годах:

$$m = \frac{A \exp\left(-\frac{E}{\eta} P\right)}{nN \cdot \frac{D}{V} \cdot k}. \quad (14)$$

Назначая расчетную величину долговечности, получим выражение, обратное периоду релаксации:

$$\frac{E}{\eta} = \frac{1}{P} \left(\ln n \frac{N \cdot D}{A \cdot V} mk \right) = k_{\text{пн}} \quad (15)$$

и модулю упругости

$$E = \eta k_{\text{пн}}, \quad (16)$$

где $k_{\text{пн}}$ – коэффициент, учитывающий повторность воздействия нагрузки от движения и зависящий, кроме того, от скорости движения (V), величины нагрузки (P и D) и продолжи-

тельности периода (m). В отличие от других существующих зависимостей и показателей долговечность (16) учитывает структурно-механические свойства одежды, состав и скорость движения, а также продолжительность периода эксплуатации дороги.

Заключение. На основании проведенных теоретических исследований можно сделать следующие выводы:

1) сроки службы и работоспособность дорожных покрытий определяются не только интенсивностью движения, но и конструкцией и свойствами дорожной одежды в целом, свой-

ствами материалов отдельных слоев, природными факторами и качеством строительных и ремонтных работ;

2) дорожные одежды нежесткого типа разрушаются при достижении ими предельных деформаций, поэтому их долговечность прямо пропорциональна времени, в течение которого достигается заданная деформация;

3) долговечность дорожной одежды зависит от структурно-механических свойств материала покрытия, состава и скорости движения, а также от продолжительности периода эксплуатации дороги.

Литература

1. Сухопутный транспорт леса: учебник для вузов по специальности «Лесоинженерное дело» / В. И. Алябьев [и др]; под ред. В. И. Алябьева. М.: Лесная пром-сть, 1990. 414 с.
2. Тумашик И. И. Укрепление грунтовых лесотранспортных путей комбинированным вяжущим // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообаб. пром-сть. 2007. Вып. XIV. С. 88–91.
3. Коган Б. И. О применении точного решения теории упругости для многослойного полупространства к расчету нежестких дорожных покрытий // Труды ХАДИ. 1958. Вып. 21. С. 17–28.
4. Тумашик И. И., Ярмолик С. В. Конструирование нежестких дорожных одежд лесных дорог требуемой надежности по прочности // Труды БГТУ. 2015. № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. С. 16–19.

References

1. Alyabyev V. I., Grehov G. F., Illin B. A., Kuvaldin B. I. *Suhoputnyj transport lesa* [Forest land transport] Under. Ed. V. I. Alyabev. Moscow, Lesnaja prom-st Publ, 1990. 414 p.
2. Tumashik I. I. Strengthening groundwater lesotransportnyh ways combined knitting / *Trudy of BGTU* [Proceedings of BSTU], series II: Forest and Woodworking Industry, 2007, issue XV, pp. 88–91 (In Russian).
3. Kogan B. I. On the application of the exact solution of the theory of elasticity for a laminated half to the calculation of non-rigid pavements. *Trudy HADI* [Proceedings of HADI], 1958, issue 21, pp. 17–28 (In Russian).
4. Tumashik I. I., Yarmolik S.V. Construction of non-rigid pavements forest roads required reliability in strength. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 16–19 (In Russian).

Информация об авторе

Тумашик Игорь Иванович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры лесных дорог и организации вывозки древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: tumashik@belstu.by

Information about the author

Tumashik Igor Ivanovich – PhD (Engineering), Assistant Professor, Assistant Professor of the Department of Forest Roads and Timber Transportation. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: tumashik@belstu.by

Поступила 15.02.2016