

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Кондаков М. В. Расчетная схема упругого манипулятора // Лесн. журн.— 1988.— № 6.— С. 36—41.— (Изв. высш. учеб. заведений). [2]. Микишев Г. Н. Экспериментальные методы в динамике космических аппаратов.— М.: Машиностроение, 1978.— 247 с. [3]. Михлин С. Г. Вариационные методы в математической физике.— М.: Наука, 1970.— 512 с.

Поступила 2 июня 1987 г.

УДК 625.7/8

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Е. И. ШЕЛОПАЕВ

Красноярский инженерно-строительный институт

Эксплуатационную надежность автомобильных дорог оценивают мерой вероятности P , при которой дорожное покрытие обеспечит требуемую скорость движения автомобилей в течение срока между капитальными ремонтами.

Критерий надежности автомобильной дороги за срок службы $T_{сл}$ можно определить из условия [3]

$$H = P(v_{\text{факт}} > v_{\text{опт}}) \geq [H],$$

где H — фактический уровень надежности автомобильной дороги по скорости движения автомобилей;
 $v_{\text{факт}}$ — фактическая скорость движения автомобилей;
 $v_{\text{опт}}$ — оптимальная скорость движения автомобиля по критерию минимума дорожно-транспортных затрат;
 $[H]$ — допустимый минимальный уровень надежности автомобильной дороги в зависимости от ее конструкции.

Вероятность, при которой фактическая скорость движения автомобилей больше оптимальной, определяется зависимостью [3]:

$$P(v_{\text{факт}} > v_{\text{опт}}) = 1 + \Phi\left(\frac{v_{\text{min факт}} - v_{\text{ср. факт}}}{\sigma_v}\right) - \Phi\left(\frac{v_{\text{опт}} - v_{\text{ср. факт}}}{\sigma_v}\right),$$

где $\Phi(X) = \frac{1}{2\pi} \int_0^X \exp\left(-\frac{U^2}{2}\right) dU$ — функция Лапласа;

σ_v — среднее квадратичное отклонение скорости движения автомобилей.

Наибольшее влияние на вертикальные деформации дорожного покрытия оказывают модуль упругости E_y , сцепление C и угол внутреннего трения φ грунта земляного полотна. В свою очередь, они зависят от типа грунта, его влажности W и плотности δ . Поэтому для решения вопросов обеспечения надежности дорожной одежды и земляного полотна необходимо знать зависимости

$$E_y = f(W, \delta); \quad \sigma_E^2 = \psi(W, \delta),$$

где σ_E^2 — дисперсия модуля упругости.

Обычно уровень надежности дорожной одежды характеризуется коэффициентом вариации: $C_E = \sigma_E / E_{\text{ср}}$, где σ_E — среднее квадратичное отклонение; $E_{\text{ср}}$ — средний модуль упругости.

При надежности дорожной одежды с щебеночным или гравийным покрытием, равным 0,90, коэффициент вариации составит 0,23 и дорожная одежда находится в хорошем эксплуатационном состоянии, тогда как для переувлажненного грунта земляного полотна надежность снижается до 0,70 и значение C_E составляет 0,50.

Расчетную влажность грунта W_p следует устанавливать в наиболее неблагоприятный весенний период года при оттаивании земляного полотна на 3/4 глубины его промерзания. Ее определяют по формуле [1]

$$W_p = W_{cp} (1 + 0,1t),$$

где t — коэффициент нормированного отклонения, принимаемый в зависимости от заданного уровня проектной надежности конструкции дорожной одежды;

W_p — средняя влажность грунта в долях от границы текучести,

$$W_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n W_i,$$

n — число испытаний;

W_i — значение влажности грунта в отдельном году.

При проектировании дорожных одежд требуемый уровень надежности K_n , определяющий минимальное значение коэффициента прочности $K_{пр}$, которое дорожная одежда должна иметь к концу срока эксплуатации между капитальными ремонтами, принимают по табл. 1 [1].

Таблица 1

Тип одежды и покрытия	K_n	$K_{пр}$
Одежды облегченного типа. Покрытие из щебня, гравия и песка, обработанных вяжущими материалами	0,85	0,90
Одежды переходного типа. Покрытие из щебня или гравия	0,60	0,63

Исследованиями [3] установлено, что значения модуля упругости распределяются по нормальному закону:

$$P(E_{тр}) = 1 - \frac{1}{\sigma_E \sqrt{2\pi}} \int_{E_{min}}^{E_{тр}} \exp \left[-\frac{(E - E_{cp})^2}{2\sigma_E^2} \right] dE.$$

Зависимости для определения математического ожидания эквивалентного фактического модуля упругости дорожной конструкции $mE_{эф}$ от среднего модуля упругости дорожной одежды mE_{cp} , модуля упругости грунта земляного полотна mE_0 и толщины конструктивных слоев дорожной одежды $m\Sigma h_l$ можно получить по формулам:

$$\frac{\partial mE_{эф}}{\partial mE_0} = \frac{1}{A} \left[1 - 1,4 \left(\frac{mE_{cp}}{mE_0} \right)^{0,4} \frac{2}{\pi} \arctg \frac{m\Sigma h_l}{D} \right],$$

где $A = \left\{ 1 - \frac{2}{\pi} \left[\left(\frac{mE_{cp}}{mE_0} \right)^{0,4} - \frac{mE_0}{mE_{cp}} \right] \arctg \frac{m\Sigma h_l}{D} \right\}^2;$

$$\frac{\partial mE_{эф}}{\partial mE_{cp}} = \frac{1}{A} \left\{ \frac{2}{\pi} \arctg \frac{m\Sigma h_l}{D} \left[0,4 \left(\frac{mE_{cp}}{mE_0} \right)^{-0,6} + \frac{mE_0^2}{mE_{cp}^2} \right] \right\},$$

где $mE_{эф}$, $mE_{ср}$, mE_0 , $m\Sigma h_i$ — математическое ожидание случайных параметров эквивалентного фактического модуля упругости, среднего модуля упругости дорожной одежды, модуля упругости грунта земляного полотна и толщин всех слоев дорожной одежды;

D — диаметр круга, равновеликого по площади отпечатку колеса расчетного автомобиля.

Допустимые отклонения фактических эквивалентных модулей упругости $E_{эф}$ от расчетных E_p с учетом требований надежности работы дорожной одежды $P(E)$ приведены в табл. 2.

Таблица 2

Надежность работы одежды $P(E)$	0,89	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1,0
Коэффициент запаса прочности $K_{пр}$	1,0	1,02	1,03	1,05	1,06	1,08	1,10	1,12	1,15	1,19	1,25	1,35

Применим рассмотренные теоретические положения к автомобильным дорогам, находящимся в суровых природных условиях Сибири.

В настоящее время расчеты толщин дорожных одежд выполняют согласно «Инструкции по проектированию дорожных одежд нежесткого типа» ВСН 46—83 [1], по одномерным схемам, которые учитывают в основном характеристики грунтов на оси дороги. Это приводит к снижению толщины дорожной одежды на стадии проектирования, поэтому в период эксплуатации она преждевременно разрушается, так как не обеспечена ее надежность. Более правильно принимать расчетные характеристики не на оси дороги, а на расстоянии 1 м от края проезжей части, где динамические нагрузки от колес лесовозного автомобильного транспорта и, следовательно, разрушения покрытия наибольшие. Это можно учесть только в двухмерных расчетных схемах, для которых, по сравнению с одномерными, влажность грунтов больше на 38 %, а модуль их упругости меньше на 16 % в насыпях, на 28 % в нулевых местах и на 37 % в выемках [6].

Автомобильные дороги, находящиеся в суровых природных условиях Сибири, разрушаются значительно быстрее, чем в европейской части СССР, так как из-за высокой влажности грунтов модуль упругости и коэффициент прочности снижаются (рис. 1) [5]. В связи с этим для Сибири дорожные одежды со щебеночно-гравийным покрытием, обработанные вяжущими материалами, необходимо проектировать несколько большей общей толщиной. Наиболее экономично это можно выполнить за счет увеличения нижнего слоя из местных дренирующих песчано-гравийных материалов. При этом коэффициент прочности $K_{пр}$ повышается до 1,0, тогда как в одномерной схеме он составляет только 0,91 [6]. Тогда, согласно рис. 1, при $K_{пр} = 1,0$ площадь деформированного покрытия $\omega = 5,0$ % для двухмерной схемы; при $K_{пр} = 0,91$ $\omega = 7,6$ % для одномерной схемы.

Скорость движения лесовозных автопоездов КамАЗ-5410 + ТМЗ-802 составит 65 км/ч для двухмерной схемы и 56 км/ч для одномерной схемы. С появлением деформаций и разрушений на проезжей части дороги снижается эквивалентный модуль упругости дорожной одежды и скорость движения автомобилей (рис. 2) [3, 6].

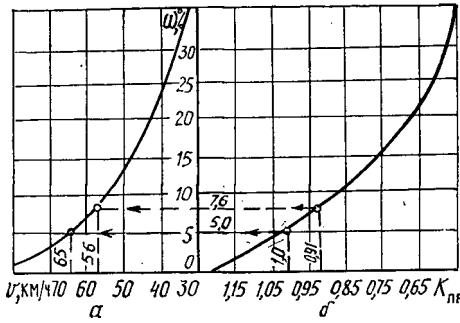


Рис. 1. Зависимость между скоростью движения автомобилей v и площадью разрушения участков дороги ω (а), между площадью разрушения ω и коэффициентом прочности $K_{пр}$ (б) для усовершенствованного облегченного типа покрытия во II дорожно-климатической зоне Сибири (по данным Н. А. Пузакова [4] и О. М. Третьяка [5])

Для рассматриваемого примера при $E_{экр} = 225$ МПа (рис. 2) ровность покрытия $S = 120$ см/км, а скорость движения автомобилей $v = 55$ км/ч (двухмерная задача); при $E_{экр} = 205$ МПа $S = 180$ см/км, $v = 50$ км/ч (одномерная задача), т. е. в первом случае состояние покрытия будет хорошим (так как $120 < 150$), а во втором ($180 > 150$) — удовлетворительным [5, 6].

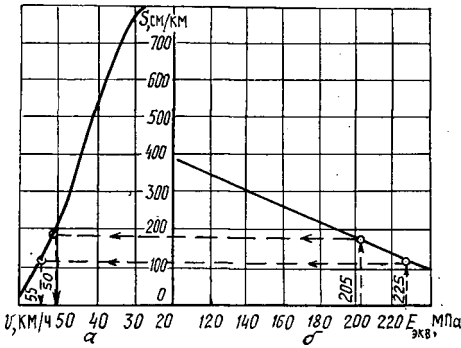


Рис. 2. Зависимость между скоростью движения автомобилей v и ровностью покрытия S (а), между ровностью покрытия S и эквивалентным модулем упругости $E_{экр}$ (б) для дорожных одежд с усовершенствованным облегченным типом покрытия

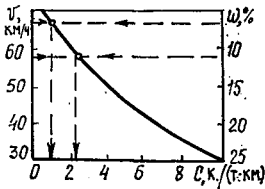


Рис. 3. Зависимость между себестоимостью автомобильных перевозок C , скоростью движения v и площадью разрушения покрытия ω

Площадь разрушения покрытия существенно влияет на скорость движения автомобилей, а следовательно, и на себестоимость автомобильных перевозок (рис. 3) [2].

С учетом рассмотренного примера в практических расчетах значения характеристик грунта $E_{гр}$, $\varphi_{гр}$, $C_{гр}$, приведенные в табл. 10 ВСН 46—83, необходимо уменьшить в 1,05 раза [1, 6].

Многолетняя практика показала, что общая толщина морозозащитных слоев дорожной одежды из стабильных материалов должна составлять не менее 80 см.

При выполнении расчетов, согласно рис. 4.3 ВСН 46—83, следует глубину промерзания грунтов увеличить в 1,1 раза, так как под дорожными покрытиями промерзание больше, чем в естественных условиях. Значение климатического параметра α_0 , согласно рис. 4.4 ВСН 46—83, надо уменьшить в 1,8 раза, так как время промерзания влажных грунтов больше за счет выделяющейся скрытой теплоты льдообразования.

При расчете дорожных одежд на осушение следует помнить, что из-за неравномерности оттаивания земляного полотна вода скапливается под дорожной одеждой и отвод ее возможен только после полного оттаивания водоотводящих устройств. Поэтому расчет дренарующего слоя наиболее целесообразно выполнять по методу поглощения, применяя пески с коэффициентом фильтрации $K_f \geq 6$ м/сут. Значения общего объема воды, поступающего в основание в период оттаивания, а также удельное количество воды, рекомендуемые ВСН 46—83 в табл. 5.1, следует увеличить в 1,15 раза, а не уменьшить на 5...10 %, как это рекомендуется ВСН 46—83.

Предлагаемые уточнения к инструкции позволяют полнее учитывать суровые природные условия лесных районов Сибири, что обеспечивает проектирование дорожных одежд с гарантированной надежностью их в период эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа. ВСН 46—83.— М.: Транспорт, 1985.— 157 с. [2]. Матросов А. П., Безбородов Ф. Т. Своевременность ремонта и качество дорожных покрытий // Автомобильные дороги.— 1986.— № 11.— С. 6—7. [3]. Повышение надежности автомобильных дорог / Под ред. И. А. Золотаря.— М.: Транспорт, 1977.— 183 с. [4]. Пузаков Н. А. Водно-тепловой режим земляного полотна автомобильных дорог.— М.: Автотрансиздат, 1960.— 168 с. [5]. Третьяк О. М. Оценка транспортно-эксплуатационных показателей нежестких дорожных одежд при обосновании оптимального срока их службы // Вопросы проектирования автомобильных дорог: Тр. / СибАДИ.— 1976.— № 7.— С. 81—90. [6]. Шелопаев Е. И. Расчет устойчивости автомобильных дорог в суровых природных условиях: Учеб. пособие.— Красноярск: КПИ, 1983.— 100 с.

Поступила 26 апреля 1988 г.

УДК 62-59 : 621.01.001

МЕТОД РАСЧЕТА И ПОДБОРА ФРИКЦИОННЫХ ПАР ПРИ СОЗДАНИИ ТОРМОЗНЫХ УЗЛОВ НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

В. П. БЕЛОКУРОВ, В. М. ПОПОВ

Воронежский лесотехнический институт

Проблема создания высокоэффективных и надежных тормозов на стадии их проектирования сопряжена с подбором оптимального сочетания фрикционных пар трения, обеспечивающих их необходимую износостойкость и долговечность. Оптимальность той или иной фрикционной пары определяется в настоящее время только экспериментально, что приводит зачастую к большим материальным затратам и значительно удлиняет сроки разработки и создания новых конструкций тормозных узлов.

Подбор фрикционных пар обычно ведется по заданным эксплуатационным параметрам: удельной нагрузке $P_{уд}$, относительной скорости скольжения $v_{ск}$ и коэффициенту трения μ . Однако эти параметры не увязаны с температурными условиями работы, теплофизическими свойствами пар трения, конструкцией тормозного узла и т. д. Большой набор оценочных показателей затрудняет выбор оптимальной пары трения. Необходимо иметь комплексный показатель, который учитывал бы теплостойкость и теплофизические свойства пар трения, их температурные условия и теплорассеивание.

При работе тормозного узла часть тепла, генерируемого при трении, расходуется на нагрев пар трения, а другая часть рассеивается за счет теплопроводности и конвективного теплообмена, поэтому: