

УДК 625.711.84:625.85

Ф. А. Павлов, Т. В. Чельшева

Павлов Фридрих Алексеевич родился в 1934 г., окончил в 1957 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, старший научный сотрудник по специальности «Автомобильные дороги», профессор кафедры промышленного транспорта Архангельского государственного технического университета, член-корреспондент РАЕН, изобретатель СССР. Имеет более 80 печатных работ по проблемам создания эффективной лесотранспортной сети, ленточных дорожных покрытий.



Чельшева Татьяна Валерьевна родилась в 1974 г., окончила в 1996 г. Архангельский государственный технический университет, старший преподаватель кафедры промышленного транспорта АГТУ. Имеет 5 печатных работ в области исследования процесса пылеобразования на гравийных (щебеночных) дорогах.



**ВЛИЯНИЕ КАСАТЕЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ
НА ГЛУБИНУ ОБРАБОТКИ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ
ПРИ ОБЕСПЫЛИВАНИИ**

На основе теории упругости выполнен анализ касательных напряжений в верхнем слое дорожной одежды. Их максимальные значения позволяют установить толщину пылящего слоя, требующего укрепления.

нагрузка, касательное напряжение, упругость, толщина, обеспыливание, покрытие, укрепление, интегрирование, напряженно-деформированное состояние, реагент.

В зоне контакта колеса автомобиля с покрытием дороги, помимо нормальных, возникают и касательные нагрузки от крутящего и тормозного моментов, а также от боковых сил, действующих на автомобиль. Касательные нагрузки не учитываются существующими методами расчета дорожной одежды на прочность, в то время как на поверхности дороги они могут приближаться к нагрузкам от веса автомобиля [1], вызывая деформации сдвига в верхних слоях дорожной одежды.

Под влиянием напряжений, возникающих в грунтовом массиве при действии внешних нагрузок, преодолеваются связи в точках контакта, между отдельными частицами и структурными агрегатами, и последние пере-

мещаются в новое, более устойчивое положение. Нормальные напряжения вызывают уплотнение грунта и прижатие его частиц и структурных агрегатов друг к другу, в результате повышается сопротивление грунта сдвигу и его внутренняя связность. Под действием касательных напряжений частицы грунта сдвигаются относительно друг друга. Это происходит, когда преодолеваются удерживающие силы в точках контакта.

Из-за продольных и поперечных колебаний автомобилей давление от колес на покрытие то возрастает, то уменьшается. В момент разгрузки колес тяговое усилие может быть выше сил сцепления колес с покрытием и возникает кратковременное пробуксовывание.

Колебания дорожной одежды вызывают циклическое сжатие и растяжение материала покрытия. Это приводит к возникновению разности давления воздуха в порах. В результате мелкие частицы, полученные при износе покрытия, постепенно выталкиваются из его толщи. Этому способствуют и глинистые тонкодисперсные частицы, расположенные между отдельными твердыми зёрнами. Превращаясь во влажную пластичную массу, они работают как смазка, облегчая перемещение зёрен к поверхности.

Износ покрытия можно предотвратить устройством защитного слоя, полученного обработкой поверхности покрытия обеспыливающим реагентом (ОР). Для определения максимальной толщины розлива ОР рассчитывали касательные и нормальные напряжения в грунтовом массиве.

Совместное действие касательных и нормальных нагрузок на покрытие дороги можно исследовать с помощью теории упругости, на основе которой в настоящее время построен практический метод расчета дорожных одежд. В сухой период грунт приобретает упругие свойства, и его можно рассматривать как упругое слоистое полупространство.

Для машинного счета наиболее удобно применять методику расчета, предложенную Р.М. Раппопорт [2] и развитую в работах К.К. Туровой [3]. Согласно ей компоненты напряженного состояния слоистого основания могут быть записаны в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{z_i} &= \frac{1}{H^3} \int_0^{\infty} F_1(\alpha, \eta, \mu_i, E_i) J_0(\alpha \rho) d\alpha; \\ \tau_{z_i} &= \frac{1}{H^3} \int_0^{\infty} F_2(\alpha, \eta, \mu_i, E_i) J_1(\alpha \rho) d\alpha, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где σ_{z_i}, τ_{z_i} – соответственно сжимающие нормальные и касательные напряжения в i -м слое;

z_i – глубина от поверхности покрытия;

H – общая толщина дорожной одежды;

F_1, F_2 – функции, зависящие от модуля упругости E_i , коэффициента

Пуассона μ_i , места расположения слоя и безразмерного коэффициента α ;

J_0, J_1 – функции Бесселя первого рода нулевого и первого порядков;

α – параметр интегрирования;

η – коэффициент, зависящий от места расположения слоя,

$\eta = z/H$;

ρ – удельное давление на поверхности, $\rho = b/H$ (b – радиус отпечатка колеса).

Для отыскания функций F_1, F_2 нагрузки на поверхности покрытия представлены интегралами Фурье – Бесселя в виде [2]: нормальная $-\frac{\rho\beta H^3}{\alpha^3} J_1(\alpha\beta)$; касательная $-\frac{t\beta H^3}{\alpha^3} J_2(\alpha\beta)$, где p, t – соответственно нормальная и касательная распределенная нагрузка; $J_2(\alpha\beta)$ – функция Бесселя первого рода второго порядка.

Используем зависимости (1) для расчета реальной гравийной дорожной одежды, расчетная схема которой приведена на рис. 1.

Нормальные нагрузки p и диаметр отпечатка $2b$ соответствуют удельному давлению от заднего колеса автомобиля МАЗ-509 с шиной модели 320×580. Касательные нагрузки t представлены в долях от нормальной, но не более 0,55 МПа.

Двухслойная дорожная одежда, верхний слой которой отсыпан из гравийно-песчаной смеси с модулем упругости 180 МПа, а нижний – из песка среднезернистого с модулем упругости 100 МПа, уложена на земляное полотно из суглинка с модулем упругости $E_1 = 50$ МПа. В расчетах принято: коэффициент Пуассона $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = 0,25$; толщина покрытия $h_n = 15$ см, толщина основания $h_o = 30$ см, общая толщина дорожной одежды $H = 45$ см.

Расчет напряжений по формулам (1) выполнен для схемы, представленной на рис. 1, численным интегрированием по формуле Симпсона в операционной системе Microsoft Excel. Программа для вычисления напряжений составлена на языке Turbo Pascal 5.5. В ходе расчетов получены значения нормальных и касательных напряжений, а также произведен анализ их совместного действия на различной глубине z от поверхности покрытия.

Результаты расчетов приведены на рисунках, анализ которых позволяет установить, как изменяется напряженное состояние дорожной одежды при действии на поверхности касательных нагрузок.

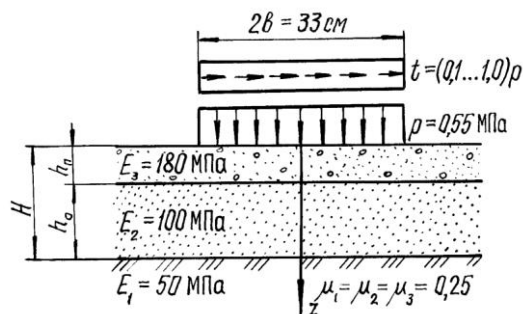


Рис. 1. Расчетная схема

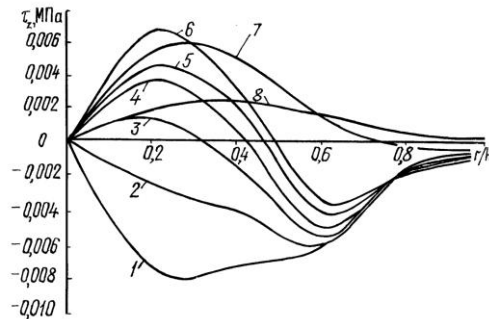


Рис. 2. Распределение касательных напряжений τ_z в зависимости от отношения r/H и глубины z : 1 – 8 – z равно соответственно 5, 6, 7, 8, 9, 10, 20 и 30 см

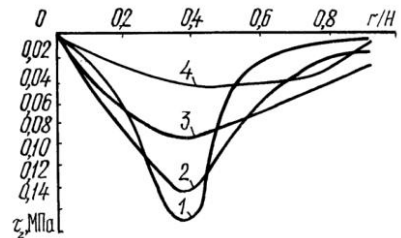


Рис. 3. Распределение касательных напряжений τ_z при совместном действии нормальных и касательных нагрузок: 1 – 4 – z равно 5, 10, 20 и 30 см

График распределения касательных напряжений при действии на поверхность касательных нагрузок величиной 0,11 МПа (при отсутствии вертикальных сжимающих нагрузок) показан на рис. 2.

Максимальные касательные напряжения имеют место в верхнем слое на расстоянии (0,2 ... 0,5) r/H от центра отпечатка (рис. 3).

На глубине более 6 см касательные напряжения возникают прежде всего от действия вертикальных (нормальных) нагрузок. В нашем примере на глубине 30 см касательные напряжения распределяются сравнительно равномерно, не концентрируясь в указанной выше зоне.

Касательные нагрузки влияют на величину касательных напряжений главным образом в верхнем слое дорожной одежды до 6 см (рис. 4), поэтому толщину покрытия (слой износа) необходимо проектировать с их учетом.

Таким образом, нами проанализировано напряженно-деформированное состояние гравийной дорожной одежды при действии на ее поверхность касательных и нормальных нагрузок. Максимальная толщина, на которую следует производить розлив обеспыливающих веществ при укреплении (обеспыливании) покрытия предложенной конструкции дорожной одежды, составляет 6 см.

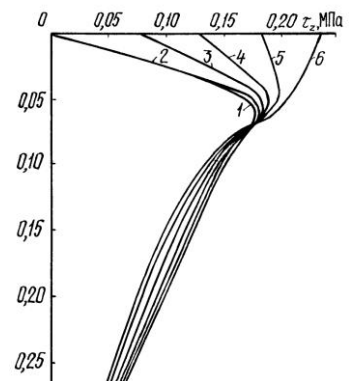


Рис. 4. Распределение τ_z при различной касательной нагрузке на поверхности: 1 – 6 – τ_z равно 0, 0,1р, 0,3р, 0,5р, 0,7р, 0,9р МПа

1. Конструирование и расчет нежестких дорожных одежд / Под ред. Н. Н. Иванова. – М.: Транспорт, 1973. – 243 с.
2. *Pаннопорт Р.М.* Задача Буссинеска для слоистого упругого полупространства // Тр. /ЛПИ. – 1948. – № 5. – С. 19–30.
3. *Туровецов К.К.* К вопросу исследования напряженного и деформированного состояния упругого слоистого полупространства // Науч. тр. / ЛТА. – 1962. – № 94. – С. 87–101.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 10.11.2000 г.

F.A. Pavlov, T.V. Chelysheva

Influence of Tangential Stress on the Depth of Road Pavement under Dedusting

Based on the elasticity theory the analysis of tangential stress has been carried out in the upper layer of the roadbed. Their maximum values allow determining the thickness of the dusting layer to be stabilized.
