

УДК 625.711.84

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, заслуженный работник лесной промышленности РФ. Имеет около 100 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, кандидат технических наук, доцент кафедры промышленного транспорта АГТУ. Имеет 10 печатных работ в области исследования процесса пылеобразования на гравийных (щебеночных) дорогах.



ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ, ОСЛАБЛЕННОЙ ОТТАЯВШИМ ВЕСНОЙ СЛОЕМ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

На основе теории упругости проанализирована роль слабого промежуточного слоя в деформировании дорожных конструкций.

Ключевые слова: осадка, деформирование, прочность, прослойка, Пуассон, модуль упругости, покрытие, основание, интегрирование, устойчивость, отпечаток.

В весенний период часто наблюдаются последствия морозного пучения грунтов, которые, как правило, промерзают глубоко. Непрочное земляное полотно вследствие образования ледяных прослоек зимой неравномерно поднимается. Весной дорожная одежда вместе с земляным полотном оттаивает. В этот период насыщенные водой грунты имеют слабую прочность, и под воздействием тяжелых грузовых автомобилей дорожная одежда разрушается. На асфальтобетонных покрытиях образуются трещины и ступени. Поэтому в наиболее неблагоприятный (весенний) период года необходимо вести наблюдение за дорогой и при необходимости ограничивать движение транспортных средств. Важно знать, в какое время под дорожной одеждой возникает слой разуплотненного грунта и как долго он сохраняется в полотне.

Для выяснения сущности данного вопроса рассмотрим конструкцию дорожной одежды при появлении весной оттаявшего слоя основания, разрез которой схематично показан на рис. 1, а.

Образующаяся прослойка часто представляет собой переувлажненный грунт или сырой гравийно-песчаный материал. Отвод воды от нее ограничен. Возникает своеобразный вариант дорожной одежды со слабым слоем внутри, так как прочное покрытие не покоится на мерзлом грунте.

При наличии слабого слоя внутри конструкции невозможно оценить ее прочность обычным методом через эквивалентный модуль упругости.

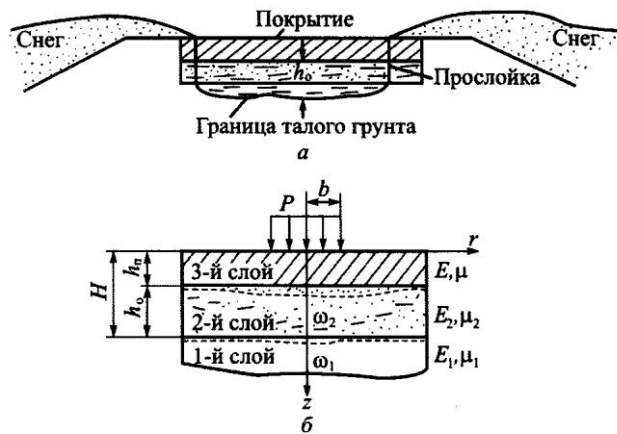


Рис. 1. Разрез дорожной одежды при наличии оттаявшего основания

Необходимо знать деформации отдельных слоев конструкции, которые можно определить расчетом трехслойной системы методами теории упругости.

Действующие вертикальные напряжения вызывают осадку отдельных слоев дорожной одежды в соответствии с их жесткостью и местом расположения относительно точки приложения сил. На деформацию поверхности покрытия влияют главным образом размеры и свойства прослойки. Однако устойчивость одежды зависит и от деформируемости первого слоя, принимаемого обычно при трехслойной системе за бесконечное полупространство.

Для установления роли прослойки необходимо вычислить осадки на контакте первого и второго, а также третьего и второго слоев (ω_1 и ω_2 на рис. 1, б). Упругие деформации под центром отпечатка колеса автомобиля, в соответствии с рис. 1, б, определяют по формулам зависимости [3]

$$\left. \begin{aligned} \omega_1 &= -\frac{1+\mu_1}{E_1 H^2} \int_0^\infty \{A + B[2(1-\mu_1)]\} e^{-\alpha \eta} \alpha^2 d\alpha. \\ \omega_2 &= -\frac{1+\mu_2}{E_2 H^2} \int_0^\infty \left\{ A + B[2(1-\mu_2) + \alpha(\eta-1)] - C_2[(1-2\mu_2)(1-e^{-2\alpha(1-\eta)})] - \right. \\ &\quad \left. - \alpha(1-\eta)(1+e^{-2\alpha(1-\eta)}) + D_2[2(1-\mu_2)(1+e^{-2\alpha(1-\eta)}) - \right. \\ &\quad \left. - \alpha(1-\eta)(1-e^{-2\alpha(1-\eta)})] \right\} e^{-\alpha \eta} \alpha^2 d\alpha, \end{aligned} \right\} (1)$$

где E_1, E_2 – модули упругости слоев, МПа;
 μ_1, μ_2 – коэффициенты Пуассона;
 H – общая толщина дорожной одежды, м;
 α – параметр интегрирования;

η – коэффициент, зависящий от места расположения слоя,

$$\eta = \frac{z}{H};$$

z – координата, м;

h_n – толщина покрытия, м;

A, B, C_2, D_2 – сложные функции от α , которые могут быть найдены из граничных условий.

Функции C_2, D_2 связаны с A и B цепными зависимостями. Коэффициенты C_2 и D_2 выражают через A и B следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} C_2 &= \frac{1}{4}(\lambda A - \nu B); \\ D_2 &= \frac{1}{4}[\lambda A + 2(m_2 - 1)B]; \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где m_2, λ, ν – параметры, зависящие от упругих характеристик первого и второго слоев:

$$m_2 = \frac{E_2}{E_1} \frac{1 - \mu_1^2}{1 - \mu_2^2}; \quad \lambda = \frac{m_2}{1 - \mu_1} - \frac{1}{1 - \mu_2}; \quad \nu = \frac{m_2(1 - 2\mu_1)}{1 - \mu_1} - \frac{1 - 2\mu_2}{1 - \mu_2}.$$

Представим нагрузки на поверхности в виде интегралов Фурье–Бесселя и выразим функции A, B, C_2 и D_2 в масштабе $-\frac{P\beta H^3}{\alpha^3} I_1(\alpha\beta)$, где β – удельное давление на поверхности, $\beta = b/H$ (b – радиус отпечатка колеса, м); P – нормальная распределенная нагрузка.

В результате получим следующие выражения для расчета ω_1 и ω_2 [2]:

$$\left. \begin{aligned} \omega_1 &= \frac{(1 + \mu_1)P\beta H}{E_1} \int_0^\infty \{A + B[2(1 - \mu_1)]\} e^{-\alpha\eta} \frac{1}{\alpha} I_1(\alpha\beta) d\alpha; \\ \omega_2 &= \frac{(1 + \mu_2)P\beta H}{E_2} \int_0^\infty \{A + B[2(1 - \mu_2) + \alpha(\eta - 1)] - \\ &\quad - C_2[(1 - 2\mu_2)(1 - e^{-2\alpha(1-\eta)}) - \alpha(1 - \eta)(1 + e^{-2\alpha(1-\eta)})] + \\ &\quad + D_2[2(1 - \mu_2)(1 + e^{-2\alpha(1-\eta)}) - \alpha(1 - \eta)(1 - e^{-2\alpha(1-\eta)})]\} e^{-\alpha\eta} \frac{1}{\alpha} I_1(\alpha\beta) d\alpha. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Вычисление осадок ω_1 и ω_2 под центром отпечатка колеса по формулам (3) выполняли численным интегрированием по формуле Симпсона. Рассмотрено пять вариантов дорожной конструкции с параметрами слоев, приведенными в табл. 1. Нормальные нагрузки соответствуют давлению от заднего колеса автомобиля МАЗ-5434 и составляют 0,55 МПа, диаметр отпечатка колеса (D) равен 37 см. Верхний слой дорожной одежды выполнен из асфальтобетона с модулем упругости 600 МПа. Модуль упругости грунта

Таблица 1

№ варианта	h_o , см	H , см	h_o/h_n	β	z , см	η
1	30	43	2,31	0,4302	5	0,1163
					9	0,2093
					13	0,3023
2	20	33	1,54	0,5606	5	0,1515
					9	0,2727
					13	0,3939
3	13	26	1,00	0,7115	5	0,1923
					9	0,3461
					13	0,5000
4	7	20	0,54	0,9250	5	0,2500
					9	0,4500
					13	0,6500
5	2	15	0,15	1,2333	5	0,3333
					9	0,6000
					13	0,8667

земляного полотна принят $E_1 = 600$ МПа, прослойки $E_2 = 87$ МПа; коэффициент Пуассона $\mu_1 = 0,36$, $\mu_2 = 0,11$; толщина покрытия $h_n = 13$ см; толщина прослойки $h_o = 2 \dots 30$ см.

Результаты расчета ω приведены в табл. 2.

Таблица 2

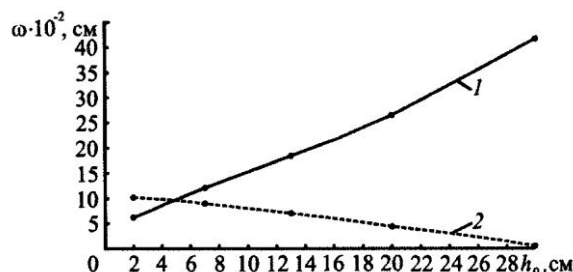
№ варианта	h_o , см	H , см	$\omega_1 \cdot 10^{-2}$, см	$\omega_2 \cdot 10^{-2}$, см	$(\omega_2 - \omega_1) \cdot 10^{-2}$, см
1	2	15	10,25	6,23	-4,02
2	7	20	9,01	12,03	3,02
3	13	26	7,09	18,52	11,43
4	20	33	4,50	26,63	22,13
5	30	43	0,45	41,64	41,19

Разность $\omega_2 - \omega_1$ в табл. 2 представляет собой осадку покрытия за счет деформирования оттаявшего промежуточного слоя. При одной и той же толщине покрытия с увеличением толщины прослойки осадка постели верхнего слоя увеличивается. На рис. 2 представлена установленная расчетом зависимость ω от толщины прослойки h_o .

Несмотря на то, что прослойка имеет слабую прочность ($E_2 = 87$ МПа), с увеличением h_o осадка ω_1 уменьшается; деформация ω_2 , характеризующая прогиб верхнего слоя, возрастает.

Согласно исследованиям проф. А.К. Бирули [1], предельные относительные деформации для асфальтобетонных покрытий составляют $\lambda = 0,035$. Поэтому для выбранной конструкции дорожной одежды осадка должна составлять $\omega = \lambda D = 0,035 \cdot 370 = 12,95$ мм.

Рис. 2. График зависимости ω от h_0 : 1 – ω_2 ; 2 – ω_1



Из табл. 2 видно, что при толщине прослойки $h_0 > 15$ см осадки выше допустимых. Поэтому с увеличением толщины прослойки дорога начнет интенсивно разрушаться, и ее на время следует закрыть, пока не будет обеспечен оптимальный водно-тепловой режим дорожного массива.

При расчете деформаций дорожной одежды с оттаявшим слоем основания использован только метод теории упругости. Наличие пластических деформаций в талом слое, отжатие влаги и уплотнение грунта будут несколько искажать общую картину деформирования одежды. Однако при обжатой прослойке (без выхода воды в стороны) полученные результаты позволяют качественно оценить деформирование дорожных конструкций, ослабленных в весенний период.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бируля, А.К. Проектирование автомобильных дорог [Текст]. Ч. 1 / А.К. Бируля. – М.: Автотрансиздат, 1961. – 500 с.
2. Павлов, Ф.А. Расчет деформаций дорожной одежды в период оттаивания основания [Текст] / Ф.А. Павлов // Сб. тр. СевНИИП. – Архангельск: Сев.-Зап. кн. изд-во, 1970. – Вып. 2. – С. 18–23.
3. Туроверов, К.К. К вопросу исследования напряженного и деформируемого состояния упругого слоистого полупространства [Текст] / К.К. Туроверов // Науч. тр. ЛТА. – 1962. – № 94.

Архангельский государственный
технический университет

Поступила 21.01.05

F.A. Pavlov, T.V. Chelysheva

Road Base Strength Assessment Weakened by Road Bed Layer Thawed in Spring

The role of weak intermediate layer in the road structure deformation is analyzed based on the elasticity theory.