

*ЛЕСОЗАГОТОВКИ И ТРАНСПОРТ*

**О ДВУХ МЕТОДАХ РАСЧЕТА ЛЕЖНЕВОГО ПОКРЫТИЯ  
АВТОМОБИЛЬНЫХ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ**

*Б. Е. Епифанов, И. И. Леонович*

Для эффективного использования автомобильного транспорта на лесовывозке требуется хорошая проезжая часть автомобильных дорог. При современном уровне развития дорожного строительства преобладающее значение имеют грунтовые дороги, устроенные из местных грунтов с различными типами покрытий.

В лесных массивах, расположенных на слабых и заболоченных грунтах, покрытия дорог устраиваются из древесины в виде колесопроводов. Колесопроводы укладывают непосредственно на грунт при сравнительно хорошем основании и на промежуточные опоры-шпалы в заболоченных местах.

Несмотря на большой расход древесины на строительство деревянных покрытий, их протяженность в системе лесной промышленности довольно значительна.

Большая стоимость автолежневых дорог при сравнительно небольших сроках их работоспособности выдвигает необходимость более тщательного расчета и определения размеров конструкции верхнего покрытия в зависимости от типа подвижного состава и несущей способности грунтов.

Наиболее ответственными элементами покрытий автолежневой дороги являются продольные брусья, из которых собираются колесопроводы. Индустриальный метод строительства дорог и возможная перекладка колесопроводов на подъездных путях определили скрепление брусьев в щиты с помощью двух-трех поперечных болтов. Такое скрепление не обеспечивает жесткости конструкции щита, а поэтому при расчете брусьев влиянием болтов можно пренебречь.

Оставляя в стороне ориентировочный метод расчета отдельного бруса колесопровода, как балки на двух жестких опорах с нагрузкой посередине, применим, как более правильный и широко используемый в инженерной практике, метод расчета покрытий по теории сплошного упругого основания.

Приступая к расчету лежней колесопровода по этому методу, приходится вводить некоторые условности, которые дают расчету два разных направления:

1) ведет к схеме расчета лежней как балки на упругом основании с гипотезой коэффициента постели, или гипотезой пропорциональности между давлением на грунт и его осадкой;

2) ведет к методу расчета без гипотезы пропорциональности. При этом полагают, что осадке подвергаются не только нагруженные частицы грунта, но и прилегающие к ним.

I. Метод расчета балки, основанный на применении гипотезы пропорциональности, принят для расчета верхнего строения пути на желез-

нодорожном транспорте и получил простое и удобное решение для практического пользования.

При расчете автолежневых дорог может быть успешно применен этот же метод. Сущность его заключается в следующем: дифференциальное уравнение упругой линии балки вида:

$$EI \frac{d^3 y}{dx^3} = \pm M_x \quad (1)$$

является статически неопределимым. Остается неизвестным закон отпора грунта и, следовательно, неизвестны изгибающий момент  $M_x$  и осадка  $y$ . Для решения уравнения вводим дополнительное условие — гипотезу прямой пропорциональности между давлением и осадкой

$$P_0 = Cy, \quad (2)$$

где  $C$  — коэффициент пропорциональности (коэффициент постели) в  $кг/см^3$ .

Используя это условие и производя соответствующие преобразования, получим следующее дифференциальное уравнение

$$\frac{d^4 M}{dx^4} + 4 K^4 M = 0, \quad (3)$$

где  $K$  — коэффициент относительной жесткости балки и основания имеет обозначение

$$K = \sqrt[4]{\frac{Cb}{4EI}} \quad (4)$$

$b$  — ширина балки.

Решая дифференциальное уравнение (3), получим:

$$M = C_1 \operatorname{sh} Kx \cdot \sin Kx + C_2 \operatorname{ch} Kx \cdot \sin Kx + C_3 \operatorname{sh} Kx \cdot \cos Kx + C_4 \operatorname{ch} Kx \cdot \cos Kx. \quad (5)$$

Пользуясь начальными условиями по методу академика А. Н. Крылова введенными им «фундаментальными функциями», которые имеют обозначения:

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{ch} Kx \cdot \cos Kx &= (Y_1); \\ \frac{\operatorname{ch} Kx \cdot \sin Kx \cdot \operatorname{sh} Kx \cdot \cos Kx}{2} &= (Y_2); \\ \frac{\operatorname{sh} Kx \cdot \sin Kx}{2} &= (Y_3); \\ \frac{\operatorname{ch} Kx \cdot \sin Kx - \operatorname{sh} Kx \cdot \cos Kx}{4} &= (Y_4), \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

и производя преобразования, получим конечные формулы для расчета лежней колесопровода в любом сечении:

$$M_x = -\frac{1}{K} \sum P_i (Y_2)_{x-ai} + \frac{Cb}{K^2} Y_0(x) + \frac{Cb}{K^2} Y_0^1 (Y_4)_x; \quad (7)$$

$$Q_x = -\sum P_i (Y_1)_{x-ai} + \frac{Cb}{K} Y_0 (Y_2)_x + \frac{Cb}{K^2} Y_0^1 (Y_3)_x; \quad (8)$$

$$Y_x = Y_0 (Y_1)_x + \frac{Y_0^1}{K} (Y_2)_x + \frac{4K}{Cb} \sum P_i (Y_4)_{x-ai}; \quad (9)$$

$$Y_x^1 = Y_0^1 (Y_1)_x + \frac{4K^2}{Cb} \sum P_i (Y_3)_{x-ai} - 4 K Y_0 (Y_4)_x, \quad (10)$$

где:  $ai$  — расстояние от начала координат до места приложения сил ( $P_i$ );



начало координат принято на левом конце балки;  $Y_0$  — просадка балки в начале координат;  $Y_0^1$  — угол поворота балки в начале координат.

Значения  $Y_0$  и  $Y_0^1$  определяются из условия, что изгибающий момент и перерезывающая сила на правом конце балки ( $x = l$ ) равны нулю.

Принимая в уравнениях (7) и (8)  $M_l = 0$  и  $Q_l = 0$ , можно определить значения  $Y_0$  и  $Y_0^1$ , после чего по формулам (7—10) произвести цифровые расчеты балки.

При этом методе расчета несущая способность грунта учитывается коэффициентом постели ( $C$ ), который представляет собой силу, необходимую для погружения опорной площадки, равной  $1 \text{ см}^2$  на глубину  $1 \text{ см}$ .

Величина коэффициента постели колеблется в пределах от 2,0 до 0,1  $\text{кг/см}^2$ . Верхний предел отвечает хорошим условиям дренирующих грунтов.

Связь между ( $C$ ) и модулем деформации грунта ( $E_0$ ) выражается формулой Н. М. Герсеванова:

$$C = 0,28 \sqrt[3]{\frac{bE_0^4}{(1-\mu_0^2)EI}}, \quad (11)$$

где  $b$  — ширина балки;  $\mu_0$  — коэффициент Пуассона грунта;  $EI$  — жесткость балки.

Подсчеты показывают, что для брусьев длиной  $l = 20 \text{ см}$  и толщиной  $h = 14 \text{ см}$  модулю деформации  $E_0 = 160 \div 180 \text{ кг/см}^2$  соответствует  $C = 1 \text{ кг/см}^3$ .

При этих условиях произведен расчет брусьев колесопровода. В качестве нагрузки принят прицеп-ропуск 2-Р-15, как имеющий большее осевое давление, чем автомобили МАЗ.

Прицеп установлен на конце балки (рис. 1, а), и сделано предположение, что оба колеса установлены на одном брусеве.

Получены следующие результаты.

Удельное давление на грунт выразилось кривой, показанной на рис. 1, б. Максимальное значение определилось у нагруженного конца балки и составило  $3 \text{ кг/см}^2$ .

Превышение допустимого удельного давления на грунт в конце лежня диктует необходимость применять подстыковые шпалы.

Изгибающий момент при этой расчетной схеме определился кривой, приведенной на рис. 1, в. Максимальное значение изгибающего момента получается в сечении между первой и второй силами, что соответствует напряжению балки, равному  $57,5 \text{ кг/см}^2$ .

II. Для расчета лежней колесопровода без применения гипотезы пропорциональности могут быть использованы методы, разработанные проф. Н. М. Герсевановым [1], М. И. Горбуновым-Посадовым [2], В. И. Рудневым [3], И. А. Симвулиди [4] и др.

Отличие этих методов заключается в применении разных математических приемов при решении дифференциального уравнения упругой линии балки.

Оригинальное решение Н. М. Герсеванова с применением функциональных прерывателей было упрощено при приближенных вычислениях проф. И. А. Симвулиди, приемы которого могут быть приняты для расчета лежневого покрытия.

Особенностью этого метода является определение реактивного давления грунта при решении дифференциального уравнения упругой линии балки.

Реакция под балкой принята по закону, выраженному формулой:

$$P_x = a_0 + \frac{2a_1}{2} \left(x - \frac{L}{2}\right) + \frac{4a_2}{L^2} \left(x - \frac{L}{2}\right)^2 + \frac{8a_3}{L^3} \left(x - \frac{L}{2}\right)^3, \quad (12)$$

где  $L$  — длина балки;  $a_0$ ;  $a_1$ ;  $a_2$ ;  $a_3$  — неизвестные параметры, величина которых зависит от размеров балки, характера грунта и нагрузки.

Подставляя значение ( $P_x$ ) в дифференциальное уравнение упругой линии балки (1) и произведя четырехкратное интегрирование, получим 4 уравнения с 8 неизвестными, для определения которых вводят граничные условия работы балки, равенство прогибов балки и осадки грунта и условия равновесия системы.

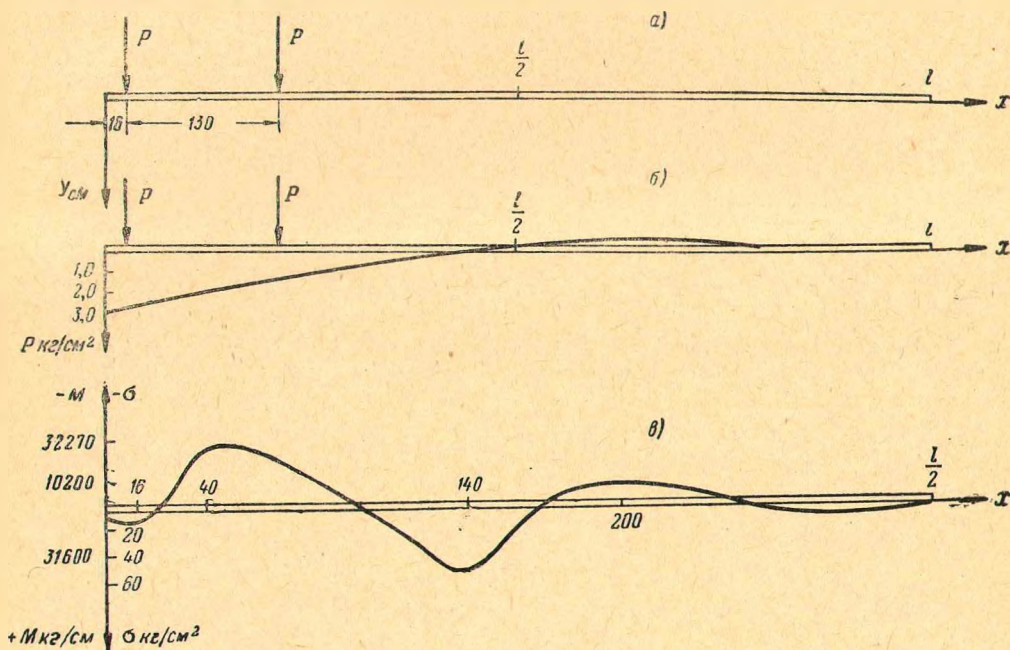


Рис. 1

а — расчетная схема нагрузки; б — кривая удельного давления на грунт; в — кривая изгибающих моментов или напряжений в балке

Решение уравнений дает возможность определить удельную нагрузку на грунт и изгибающий момент в лежне.

При расчете конструкций на упругом основании без применения коэффициента пропорциональности несущая способность грунта определяется модулем деформации грунта  $E_0$ .

Для возможного сравнения расчета лежневого покрытия по двум различным методам с коэффициентом пропорциональности и без коэффициента пропорциональности был произведен расчет лежней по той же расчетной схеме (рис. 1, а) с модулем деформации  $E_0 = 160 \div 180 \text{ кг/см}^2$ .

Результаты расчета показали, что порядок цифр для удельного давления на грунт аналогичен для обоих методов расчета изгибающих моментов в лежне.

Несколько большие по величине значения удельного давления и изгибающих моментов получаются при расчете балки по методу упругого основания с гипотезой пропорциональности, что объясняется принятыми условиями этого метода, когда передача нагрузки производится только



частицами грунта, находящегося под балкой. Сравнительные результаты расчетов приведены в таблице.

Показатели	Методы расчета	Расстояние от левого конца балки до рассматриваемого сечения, см					
		0	16	40	146	200	325
Удельное давление на грунт, кг/см <sup>2</sup>	С гипотезой пропорцион. . . .	3,0	2,8	2,35	2,2	0,76	0
	Без гипотезы пропорцион. . . .	2,2	1,9	1,5	0,7	0,33	0
Изгибающий момент, кг/см	С гипотезой пропорцион. . . .	0	5888	-32270	31600	-10200	8000
	Без гипотезы пропорцион. . . .	0	4803	-29789	29069	-3300	7922

Расчеты по 1 методу (по коэффициенту пропорциональности) являются значительно менее трудоемкими и более удобными для практического пользования.

Следует произвести экспериментальную проверку работы покрытий автолежневых дорог и уточнить теоретические предпосылки и расчеты по обоим методам.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Н. М. Герсеванов и Я. А. Мачерет, К вопросу о бесконечнодлинной балке на упругой почве, нагруженной силой  $P$ , сб. НИС Фундаментстроя, № 8, 1937.
2. М. И. Горбунов-Посадов, Балки и плиты на упругом основании, изд. Министерства строительства предприятий машиностроения, М., 1949.
3. В. И. Руднев, Приближенный метод расчета балки на сплошном упругом основании без гипотезы Винклера, сб. НИС Фундаментстроя, № 8, 1937.
4. И. А. Симвулиди, Расчет балок на сплошном упругом основании, Госиздат «Советская Наука», 1955.

Рекомендована кафедрой сухопутного транспорта Московского лесотехнического института

Представлена 23.I.1958 г