



УДК 629.3.027.74

Определение радиуса кривизны слоя резиноармированной гусеницы и распределения нагрузки между опорными катками гусеничного движителя

В.П. Лапик,

канд. техн. наук, доц.
(ФГБОУ ВПО «Брянская ГСХА»),
v.p.lapick@mail.ru

В.П. Дьяченко,

канд. техн. наук, проф.
(Горный институт НИТУ МИСиС),
viach.dyachenko@yandex.ru

Аннотация. Приведены результаты теоретических исследований по определению радиуса кривизны слоя резиноармированной гусеницы, армированного тросами, и распределения нагрузки между опорными катками гусеничного движителя.

Ключевые слова: гусеничный движитель, резиноармированная гусеница, почва, изгибная жесткость, давление.

Применение в современных гусеничных движителях резиноармированных гусениц способствует улучшению многих эксплуатационных показателей, в том числе проходимости, как эксплуатационного качества машины.

Экспериментальными исследованиями применения гусеничного движителя с резиноармированными гусеницами на переувлажненных почвах установлено уменьшение глубины колеи за счет сплошной опорной ленты, которая снижает степень вытеснения воды из почвенных пор [1]. В этом случае увеличивается гидростатическое давление воды в порах, которое удерживает в определенном положении гусеничную машину, но при этом значительно (в несколько раз) увеличивается напряженное состояние почвы.

Экспериментальные исследования распределения давления на почву гусеничного движителя с резиноармированными гусеницами показали, что основные пиковые значения давления образуются за счет податливости ленты под опорными катками движителя (рис. 1).

Повышенное напряженное состояние почвы и большая неравномерность распределения давления по длине гусеничной ленты отрицательно влияют на структуру почвы и растительный покров, что особенно проявляется на переувлажненных почвах.

Равномерность распределения давления по длине гусеницы зависит от ее жесткости, определяемой радиусом кривизны и распределением нагрузок между опорными катками.

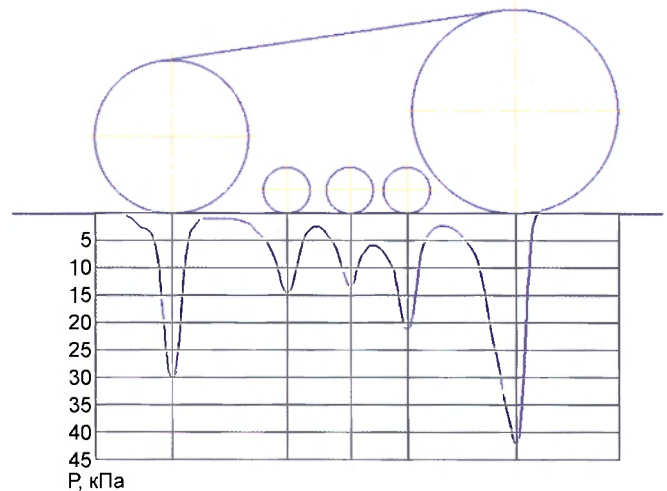


Рис. 1. Экспериментальная эпюра распределения давления на почву движителя с резиноармированной гусеницей

При деформировании резиноармированной гусеницы опорными катками радиус кривизны слоя, армированного тросами, в промежутке между грунтозацепами определяется из уравнений прогиба резиноармированных гусениц как растянутой натяжением T балки, лежащей на упругом основании. При этом учитывается податливость почвы, характеризующаяся модулем деформации. В соответствии с традиционно используемым соотношением расстояний между опорными катками t_k и прогибами ленты t_r , равным 2-2,5, рассмотрим два крайних случая:

$$t_k/t_r = 2 \text{ (рис. 2) и } t_k/t_r = 2,5 \text{ (рис. 3).}$$

Уравнение изгиба резиноармированных гусениц как балки на пружинном основании согласно [2] запишется в виде:

$$EJ \frac{d^4 y}{dx^4} - T \frac{d^2 y}{dx^2} + B\alpha = BP(x), \quad (1)$$

где EJ — изгибная жесткость резиноармированной гусеницы, кН/м;

T — натяжение гусеницы, кН/м;

α — жесткость упругого основания в расчете на 1 м² опорной площади, кН/м²;

x, y — величина деформации ленты по осям x и y , м;

B — ширина гусеницы, м;

$P(x)$ — давление со стороны катков на армированный слой резиноармированной гусеницы, кН/м².

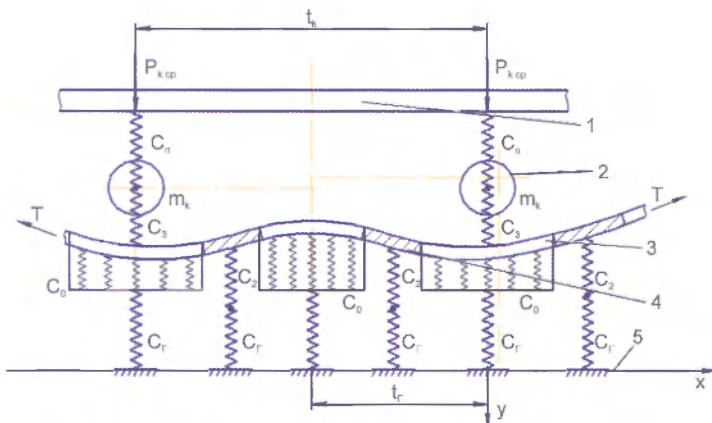


Рис. 2. Схема деформирования резиноармированной гусеницы (при $t_k/t_r = 2$) как растянутой балки на упругом основании:

1 – балка тележки; 2 – каток;
3 – резиноармированная гусеница; 4 – закладной элемент;
5 – уровень границы усадки грунта;
 t_k – расстояние между опорными катками;
 T – натяжение гусеничной ленты;
 C_r – жесткость грунта;
 $P_{k,op}$ – среднее значения усилия на каток;
 C_n – жесткость пружин; m_n – масса опорного катка;
 t_r – расстояние между прогибами ленты

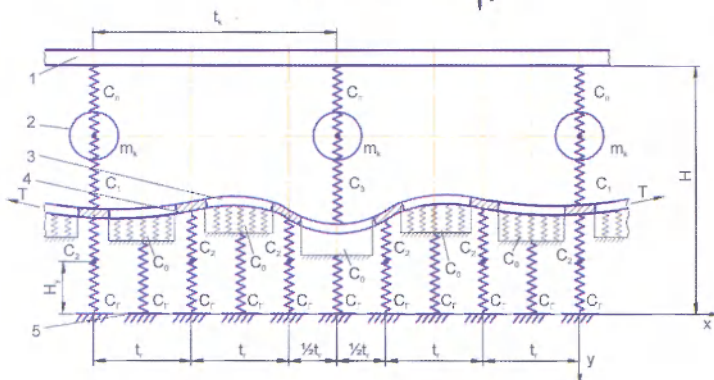


Рис. 3. Схема деформирования резиноармированной гусеницы (при $t_k/t_r = 2,5$) как растянутой балки на упругом основании:

1 – балка тележки;
2 – каток;
3 – резиноармированная гусеница;
4 – закладной элемент;
5 – уровень границы усадки грунта;
 H – расстояние от уровня границы усадки грунта до точки крепления пружин подвески

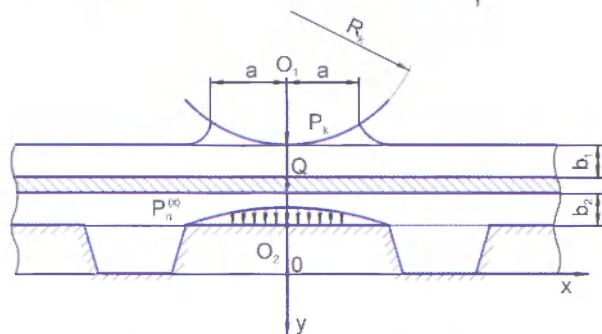


Рис. 4. Схема определения поперечной жесткости резиноармированной гусеницы и максимального давления на почву в промежутке между грунтозацепами:

a – полуширина площадки контакта;
 R_k – радиус опорного катка,
 b_1 – толщина верхнего упругодеформированного слоя резиноармированной гусеницы;
 b_2 – толщина нижнего упругодеформированного слоя

Жесткость ленты в промежутках между грунтозацепами определяем из выражения

$$\frac{1}{\alpha_1} = \frac{b_2}{E_p} + \frac{Bt \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}\right)}{4E_{def}} \quad (2)$$

где α_1 – жесткость ленты между грунтозацепами, кН/м²;
 b_2 – толщина нижнего упругодеформированного слоя, м;

E_p – модуль упругости резины, кН/м²;

B – рабочая ширина гусеницы, м;

φ – угол внутреннего трения в почве;

E_{def} – модуль деформации почвы, кН/м².

Жесткость ленты под грунтозацепами с учетом рекомендаций [3] определяется из выражения

$$\frac{1}{\alpha_2} = \frac{b_2}{E_p} + \frac{6h_3}{E_p \left[1 + \frac{1}{3} \left(\frac{b_r'}{n_3} \right)^2 \right]} + \frac{b_r' \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}\right)}{4E_{def}} \quad (3)$$

где α_2 – жесткость ленты под грунтозацепами, кН/м²;
 E_p – модуль упругости резины, кН/м²;
 b_r' – толщина грунтозацепа, м;
 b_r' – ширина основания грунтозацепа, представляющего собой длинное призматическое тело, м;
 h_3 – глубина погружения грунтозацепа, м.

Выполнив определенные преобразования с учетом жесткости упругого основания, одинаковой вдоль всей оси X , и разложив переменное вдоль оси X давление $P_{(x)}$ в ряд Фурье [4], учитывая, что оно распределяется симметрично оси OO_1 , проходящей между грунтозацепами (рис. 4), периодически повторяющейся с периодом $t_k = 2t_r$, и является четной функцией относительно точки $x=0$, получим:

$$P(x) = P_{\bar{p}} + \sum_{k=1}^{\infty} m_R \cos \frac{2\pi R}{t_k} X, \quad (4)$$

где $P_{\bar{p}}$ – среднее значение давления на промежутке ленты между двумя опорными катками;

m_R – амплитуда R -й гармоники.

Амплитуда R -й гармоники определяется из выражения

$$m_R = \frac{2}{t_k - \frac{t_k}{2}} \int_0^{\frac{t_k}{2}} P(x) \cos \frac{2\pi R}{t_k} X dx. \quad (5)$$

Тогда давление на грунт в определенной точке $x = 0$ будет определяться из выражения

$$P(o) = \varphi y(o) = P_{cp} + \frac{(P_{max} - P_{cp}) B \varphi}{EJ \left(\frac{2\pi}{t_k}\right)^4 + T \left(\frac{2\pi}{t_k}\right)^2 + B \varphi}, \quad (6)$$

где P_{max} – максимальное значение давления на промежутке ленты между опорными катками, кПА.

В этом случае значения коэффициента неравномерности давления на грунт резиноармированной гусеницы можно определить из выражения

$$K_H - \frac{P(o)}{P_{cp}} = 1 + \frac{\left(\frac{P_{max}}{P_{cp}} - 1\right) B \varphi}{EJ \left(\frac{\pi}{t_k}\right)^4 + T \left(\frac{\pi}{t_k}\right)^2 + B \varphi}. \quad (7)$$

Кривизна прогиба резиноармированной гусеницы в точке $X=0$, необходимая для расчета величины P_{max} , определяется по формуле

$$\frac{1}{R_{TP}} \approx y''(0), \quad (8)$$

где R_{TP} – радиус кривизны слоя, армированного тросами, в точке Q, обусловленный прогибом этого слоя, м; $y''(o)$ – предельная величина кривизны прогиба резиноармированной гусеницы при P_{max} , м.

Приведенный радиус кривизны резиноармированной ленты при деформации ее опорными катками равен

$$R_{np} = \frac{(R_k + b_1) R_k}{2R_k - b_1}, \quad (9)$$

где R_k – радиус опорного катка, м; b_1 – толщина верхнего упругодеформированного слоя резиноармированной гусеницы, м.

Заметим, что даже при достаточно большом значении полуширины площадки контакта a (рис. 3), равном $\frac{1}{2} t_k$, величина $\frac{P_{max}}{P_{cp}} = 2,9$. Это дает основание утверждать, что максимальное давление, равное $P_{k\ cp} / b_{TB}$, будет под грунтозацепами. Коэффициент неравномерности в этом случае равен

$$K'_{II} = \frac{t_k}{b_T}. \quad (10)$$

Для обеспечения равномерного распределения давления по длине резиноармированной гусеницы с учетом ее жесткости и распределения давления между опорными катками необходимо значения коэффициентов не-



равномерности давления на грунт резиноармированной гусеницы K_H и K'_H сравнивать между собой и принимать наибольшую из двух величин.

Таким образом, полученные в ходе теоретических исследований зависимости позволяют определить оптимальные значения жесткости резиноармированной гусеницы, радиуса ее кривизны под опорными катками, что дает возможность более равномерно распределить нагрузку на опорные катки гусеничного движителя и снизить его негативное воздействие на почву.

Список

использованных источников

1. Емельянов А.М. Пути снижения техногенного воздействия гусеничных движителей уборочных машин на переувлажненные почвы: дис.... д-ра техн. наук: 05.20.01. Благовещенск, 1997. 250 с.
2. Кристенсен Р. Введение в механику композитов. М.: Мир, 1982. 334с.
3. Потураев В.Н. Резиновые и резино-металлические детали машин. М.: Машиностроение, 1996. 299 с.
4. Джонсон К. Механика контактного взаимодействия. М.: Мир, 1989. 510 с.

Determination of Curvature Radius of Rubber Reinforced Track Layer and Load Distribution Between Support Rollers of Caterpillar Mover

V.P. Lapik, V.P. Diyachenko

Summary. The article presents the results of theoretical studies to determine a curvature radius of rubber track layer reinforced with cables and load distribution between support rollers of a caterpillar mover.

Key words: caterpillar mover, rubber reinforced caterpillar, soil, flexural rigidity, pressure.