

$$R^3 + \frac{\pi b^* t^2}{2P} R^2 + \frac{3\pi b^* t^4}{16P} = 0,$$

действительное решение которого имеет вид

$$R = \frac{\left(12\sqrt{81\beta^2 + 12\beta\alpha^3} - 108\beta - 8\alpha^3\right)^{1/3}}{6} + \frac{2\alpha^2}{3\left(12\sqrt{81\beta^2 + 12\beta\alpha^3} - 108\beta - 8\alpha^3\right)^{1/3}} - \frac{\alpha}{3},$$

где

$$\alpha = \frac{\pi b^* t^2}{2P}, \beta = \frac{3\pi b^* t^4}{16P}. \quad (15)$$

5. Применяя стандартную методику масштабно-физического моделирования, изготавливается плоская модель детали из органического стекла, штамп с круглым основанием из жесткого материала (металл) и проводятся исследования НДС по методике и установке, описанной в работах [8, 10].

6. Затем этапы 1...4 повторяются при изготовлении реальной детали с оптимальной формой контура в зоне контакта.

Данная методика позволяет проектировать сопряжения деталей, не прибегая к сложному математическому аппарату или дорогостоящему программному обеспечению [11], причем ошибка в расчетах не превысит 5%.

Список литературы

1. Детали машин и основы конструирования: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по агроинженерным специальностям / М.Н. Ерохин, А.В. Карп, Е.И. Соболев [и др.]; под ред. М.Н. Ерохина. — М.: Колос, 2008. — 462 с.

2. Максимов П.Л. Разработка универсальных технических средств для уборки корнеклубнеплодов: монография. — Ижевск: Изд-во ИжГСХА, 2002. — 172 с.

3. Баничук Н.В. Оптимизация форм упругих тел. — М.: Наука, 1980. — 256 с.

4. Мусхелишвили Н.И. Сингулярные интегральные уравнения. — М.: Наука, 1968. — 512 с.

5. Александров В.М., Чебаков М.И. Введение в механику контактных взаимодействий. — Ростов-на-Дону: Изд-во ООО «ЦВВР», 2007. — 114 с.

6. Дородов П.В. Приведение краевой задачи для плоского упругого тела к одному особому интегральному уравнению [Электронный ресурс] // Политехнический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. — 2012. — № 80. — С. 1–10. — Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2012/06/pdf/14.pdf>

7. Дородов П.В. Исследование напряжений на линии сопряжения ступенчатой пластины [Электронный ресурс] // Инженерный вестник Дона. — 2013. — Т. 25. — № 2 (25). — С. 36. — Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/>

8. Интерферометр для определения нормальных напряжений в плоских прозрачных моделях / В.П. Беркутов, Н.В. Гусева, П.В. Дородов [и др.] // Датчики и системы. — 2009. — № 2. — С. 26–29.

9. Полярископ для определения разности главных напряжений в плоских моделях, изготовленных из оптически малочувствительных прозрачных материалов / В.П. Беркутов, Н.В. Гусева, П.В. Дородов [и др.] // Вестник Ижевского государственного технического университета. — 2008. — № 4 (40). — С. 108–110.

10. Киселев М.М. Разработка установки для определения главных напряжений с повышенным пространственным разрешением в плоских прозрачных изделиях: дис. ... канд. техн. наук: 05.11.13 / Киселев Михаил Михайлович. — Ижевск, 2010. — 136 с.

11. Ерохин М.Н., Казанцев С.П., Дорохов А.С. Компьютерные технологии проектирования в учебном процессе агроинженерных вузов // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. — 2010. — № 4. — С. 82–85.

УДК 631.3:629.3.014.2.033:636.085

В.В. Стрельцов, доктор техн. наук

Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева

В.П. Лапик, канд. техн. наук

И.П. Адылин

Брянская государственная сельскохозяйственная академия

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ РЕЗИНОАРМИРОВАННОЙ ГУСЕНИЧНОЙ ЛЕНТЫ ПРИ ДЕФОРМИРОВАНИИ ЕЕ ОПОРНЫМИ КАТКАМИ ГУСЕНИЧНОГО ДВИЖИТЕЛЯ

Применение резиноармированных гусениц в конструкции гусеничных движителей имеет свои особенности взаимодействия с ведущей звездочкой и опорными катками. Наличие достаточно высоких грунтозацепов и гибкость гусеничной ленты в промежутках между ними существенно из-

меняет и характер воздействия на почву, особенно переувлажненную пойменную. Резина как материал при приложении нагрузки изменяется по определенным законам [1].

Пренебрегая в первом приближении взаимным влиянием нагрузок от соседних опорных катков,

определим жесткость резиноармированной ленты при нагружении одним катком. Рассмотрим два характерных сечения:

1) сечение, проходящее через середину толщины грунтозацепа b_r (рис. 1);

2) сечение, проходящее через середину промежутка между грунтозацепами (рис. 2).

При этом учтем, что резиноармированная лента имеет несколько слоев (см. рис. 2): верхний упругодеформированный слой резины, армированный кордом толщиной b_1 ; практически нерастяжимый вдоль гусеницы слой, армированный стальными тросами; нижний упругодеформированный слой толщиной b_2 .

Параметры сжатия верхнего упругодеформируемого слоя определим по схеме деформации цилиндром тонкого упругого слоя, приклеенного к жесткому основанию. При этом возможный прогиб слоя, армированного тросами и являющегося в данном случае основанием, учтем, как это принято в теории контактных деформаций, введением некоторого радиуса кривизны основания, который будет определен в дальнейшем.

Резину можно считать практически несжимаемым материалом. В этом случае при сжатии тонкого слоя резины цилиндром эпюра распределения давления на площадке контакта описывается не квадратичной параболой, как в теории контактных деформаций Герца, а параболой четвертой степени. Такое распределение давления на площадке контакта большей концентрацией напряжений в середине площадки, а сам контакт является более жестким.

Основные характеристики контакта жесткого цилиндра (в данном случае опорного катка) с тонким слоем резины определяются следующим образом [2]:

распределение давления симметрично относительно оси OO_1 (см. рис. 2) при $|x| \leq a$:

$$p(x) = \frac{E_{np} a^4}{24 R_{np} b_1^3} \left(1 - \frac{x^2}{a^2} \right)^2; \quad (1)$$

уравнение для определения полуширины площадки контакта a :

$$P_k = \frac{2 E_{np} a^5}{45 R_{np} b_1^3} B; \quad (2)$$

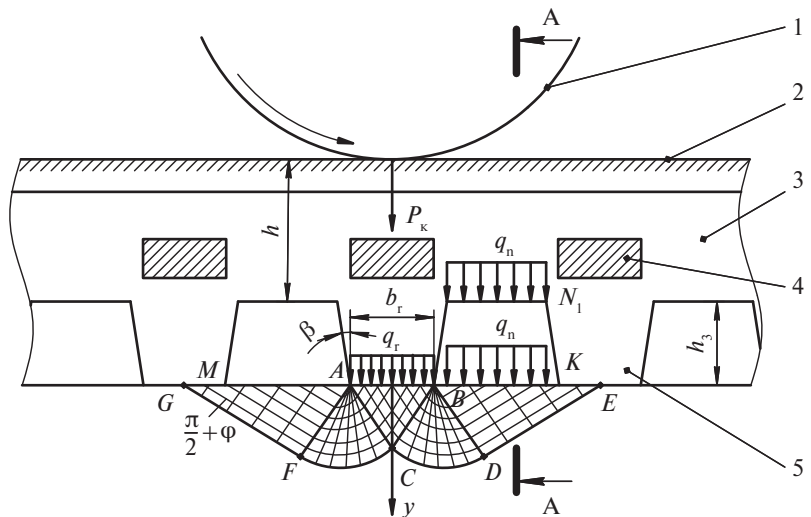


Рис. 1. Схема формирования колес под грунтозацепом: 1 — каток; 2 — внутренняя поверхность резиноармированной гусеницы; 3 — резиноармированная гусеничная лента; 4 — закладной металлический элемент; 5 — грунтозацеп

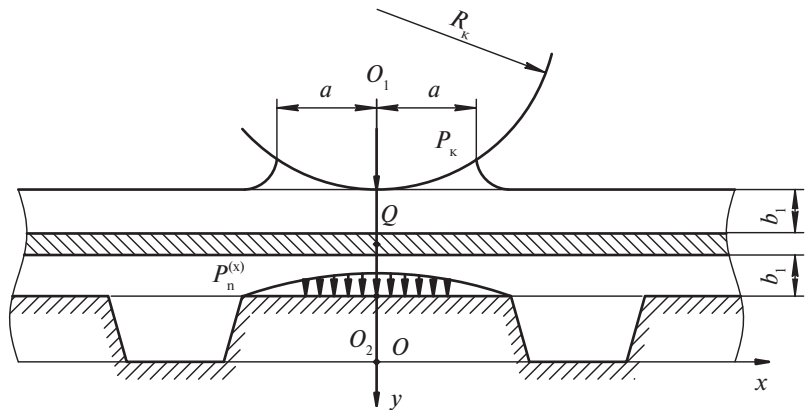


Рис. 2. Схема определения поперечной жесткости резиноармированной гусеницы и максимального давления на почву в промежутке между грунтозацепами

наибольшая деформация вдоль оси OO_1 (вертикальное перемещение опорного катка):

$$\delta = \frac{a^2}{6 R_{np}}, \quad (3)$$

где B — рабочая ширина гусеницы; R_{np} — приведенный радиус кривизны контактирующих тел; E_{np} — приведенный модуль упругости контактирующих тел.

Приведенный радиус кривизны таков:

$$R_{np} = \frac{R_k R_{tp}}{R_{tp} - R_k}, \quad (4)$$

где R_k — радиус опорного катка; R_{tp} — радиус кривизны слоя, армированного тросами, в точке Q , обусловленный прогибом этого слоя.

Радиус R_{tp} при положении центра катка по середине промежутка между грунтозацепами (см. рис. 2) в дальнейшем определяется из уравнения изгиба гусеницы как растянутой балки, лежащей на упругом основании.

Приведенный модуль упругости слоя толщиной b_1 , армированного кордом как композитного тела, определим, согласно рекомендациям работы [1], так:

$$E_{\text{пр}} = E_p \frac{(1 + C_k)E_k + (1 - C_k)E_p}{(1 + C_k)E_p + (1 - C_k)E_k}, \quad (5)$$

где E_p — модуль упругости резины; C_k — объемная концентрация нитей корда в слое; E_p — модуль упругости нитей корда при поперечном сжатии.

Считая, что $E_k \gg E_p$, получаем

$$E_{\text{пр}} \sim E_p \frac{1 + C_k}{1 - C_k}. \quad (6)$$

Определим из равенств (2), (3) жесткость контакта опорного катка с резиноармированной лентой:

$$C_3 = \frac{P_k}{\delta_3} = 1,73(P_k R_{\text{тр}})^{3/5} \left(\frac{E_{\text{пр}} B}{b_1^3} \right)^{5/2}. \quad (7)$$

Таким образом, жесткость контакта зависит от действующего усилия P_k . А нагрузка на опорный каток в рассматриваемом его положении зависит от соотношения шага установки катков и шага грунтозацепов. Если это соотношение является целым числом, то нагрузка на все катки тележки практически одинакова и равна нагрузке на тележку, деленной на число катков. В ином случае она определяется из уравнения изгиба гусеницы как балки, лежащей на упругом основании.

При расположении катка над грунтозацепом и закладным металлическим элементом (см. рис. 1) в приведенных выше выражениях можно принять $R_{\text{тр}} = \infty$ и $R_{\text{пр}} = R_k$. Обозначим получающуюся при этом жесткость C_1 .

Далее определим, согласно рис. 2, распределение давления на почву $P_{\text{п}}(x)$, передаваемого от слоя, армированного тросами, через упругодеформируемый слой b_2 . Для этого используем известный в контактной теории прием: приведем криволинейную вблизи точки Q форму слоя к плоской. Тогда нужно вводить эквивалентную кривизну в точке O_2 на поверхности почвы. При этом получаем задачу сжатия тонкого слоя b_2 , приклеенного к плоскости основания в окрестности точки Q цилиндрическим телом (почвой) с радиусом кривизны вблизи точки O_2 , равным $R_{\text{пр}}$. По аналогии с предыдущими формулами получаем суммарную на всем промежутке между грунтозацепами жесткость этого контакта в виде

$$C_{\text{оС}} = \frac{P_k}{\delta_0} = 1,73(P_k R_{\text{тр}})^{3/5} \left(\frac{E_{\text{пр}} B}{b_2^3} \right)^{5/2}. \quad (8)$$

Распределение давления на почву при этом по аналогии с формулой (1) запишется так:

$$P_{\text{п}}(x) = P_{\text{max}} \left(1 - \frac{x^2}{a_{\text{п}}^2} \right)^2, \quad (9)$$

где P_{max} — максимум давления, определяемый из совместного решения двух неравенств:

$$P_{\text{max}} = \frac{E_{\text{пр}} a_{\text{п}}^4}{24 R_{\text{тр}} b_2^3} \quad (10)$$

и

$$P_k = \frac{2 E_{\text{пр}} a_{\text{п}}^5 B}{45 R_{\text{тр}} b_2^3}, \quad (11)$$

путем исключения из них величины $a_{\text{п}}$. При этом получаем

$$P_{\text{max}} \approx 0,5 \left(\frac{P_k}{B} \right)^{4/5} \left(\frac{E_{\text{пр}}}{R_{\text{тр}} b_2^3} \right)^{1/5}. \quad (12)$$

Определим жесткость грунтозацепа при вертикальном нагружении с учетом особенностей расчета резиновых деталей [2]. Воспользуемся при этом методом Э.Э. Лавендэла, согласно которому деформация детали рассчитывается исходя из необходимой энергии формоизменения. Грунтозацеп представляет собой длинное призматическое тело шириной при основании (см. рис. 1):

$$b'_r = b_r + 2h_3 \text{tg} \beta. \quad (13)$$

Площадь поперечного сечения основания грунтозацепа

$$F_0 = b'_r B. \quad (14)$$

Тогда, согласно [2], жесткость при вертикальном сжатии грунтозацепа

$$c_2 = \frac{P}{\Delta} = G_p F_0 \frac{1}{2h_3} \left[1 + \frac{1}{3} \left(\frac{b'_r}{h_3} \right)^2 \right], \quad (15)$$

где P — действующее усилие; Δ — осадка грунтозацепа; G_p — модуль сдвига резины; $G_p = \frac{E_p}{3}$; E_p — модуль упругости резины.

Таким образом, жесткости резиноармированной ленты как выше, так и ниже слоя, армированного тросами, определены авторами в двух характерных сечениях: над грунтозацепами и в промежутках между ними.

Давление на почву под грунтозацепом можно считать приближенно равномерно распределенным:

$$P_r = P_k / b_r. \quad (16)$$

Именно давлениями $q_x = P_{\text{max}}$ и $q_r = P_r$ определяется глубина колеи в промежутке между грунтозацепами и под грунтозацепами.

Список литературы

1. Потураев В.Н. Резиновые и резинометаллические детали машин. — М.: Машиностроение, 1966. — 300 с.
2. Лавендэл Э.Э. Расчет резинотехнических изделий. — М.: Машиностроение, 1976. — 232 с.