DOI: 10.17117/na.2015.07.613

Поступило в редакцию: 29.07.2015

<http://ucom.ru/doc/na.2015.07.613.pdf>

Гайнуллин И.А. Моделирование распределения давления гусеничного трактора на почву

Gainullin I.A. Simulation of pressure distribution of the crawler tractor on the ground

Разработана математическая модель распределения давления гусеничного движителя на почву, учитывающего конструктивные и нагрузочные режимы трактора

Ключевые слова: гусеничный трактор, давление, математическая модель, нагрузка, почва

Developed the mathematical model of the pressure distribution of caterpillar on the soil, taking into account constructional and load modes of the tractor

Key words: crawler tractor, pressure, mathematical model, load, soil

Гайнуллин Ильшат Анварович

Кандидат технических наук, доцент
Институт развития образования Республики
Башкортостан
г. Уфа, ул. Мингажева, 120

Gainullin Ilshat Anvarovich

Candidate of Engineering Sciences, Associate
Professor
Institute education development Republic
Bashkortostan
Ufa, Mingazheva st., 120

Традиционные технологии возделывания сельскохозяйственных культур сопровождается многократными проходами техники по полю. Сегодня все больше внимание уделяется ресурсосберегающим технологиям, использованию широкозахватных скоростных комбинированных агрегатов [1, с.34], [2, с.10], [3, с.63]. Особую опасность представляет кумулятивный эффект переуплотнения почвы от повторяющихся воздействий движителей тракторов. Для трактора Т-170М1.03-55, давление на почву может достигать 0,245 МПа и экстремальные значения давления смещены к краям участка контакта (рис.1) [4, с.4]. Разработаны эффективные пути повышения экологических и тягово-сцепных показателей гусеничного трактора [5, с. 48], [6, с. 62].

Моделировать распределение давления на почву гусеничного трактора с полужесткой подвеской возможно по уравнению [5, с.93]:

$$p(x) = (P + Aa^2 - 2Ax^2) / \pi \sqrt{a^2 - x^2} \quad (1)$$

где $p(x)$ – давление в точке x в интервале $-a; +a$, Па; P – равнодействующая сила, $P = \int_{-a}^{+a} p(x) d(x)$, Н; a – полуширина контакта, м; x – координата точки, м; A

– коэффициент, характеризующий поверхность контакта двух тел, описываемых соответствующими функциями $f_1(x)$, $f_2(x)$, определяется по выражению:

$$A = (f_1''(0) + f_2''(0)) / \vartheta_1 + \vartheta_2, \quad (2)$$

где ϑ_1 , ϑ_2 – постоянные, характеризующие свойства упругости тел;

$$\vartheta_1 = 2(1 - \mu_1^2) / \pi E_1; \quad \vartheta_2 = 2(1 - \mu_2^2) / \pi E_2 \quad (3)$$

E , μ – модуль упругости, Па и коэффициент Пуассона контактируемых тел.

P – нагрузка, приходящийся на единственный движитель $P = G\alpha + P_{кр} \sin \gamma$, Н; $G\alpha$ – эксплуатационный вес трактора, Н; e – эксцентриситет, м; $P_{кр}$ – усилие на крюке трактора, Н; $h_{кр}$ – высота прицепа, м; L , $|a|$ – длина, полу-длина опорной поверхности, м; c – расстояние от центра контакта до вертикальной составляющей $P_{кр}$

Рис. 1. Эпюра нормальных давлений в продольном сечении опорной поверхности гусеничного трактора с полужесткой подвеской

Для плоского штампа (при $A=0$) уравнение (1) имеет вид:

$$p(x) = P / \pi \sqrt{a^2 - x^2} \quad (4)$$

На давление влияет смещение равнодействующей веса трактора относительно оси симметрии, вызванное тягой на крюке и силами инерции.

При смещении вертикальной силы относительно оси симметрии равнодействующая сила, учитывающая это отклонение, определяется [6, с. 114]:

$$PI = P + 2Mx/a^2 \quad (5)$$

где PI – результирующая сила, Н; M – момент от вертикальной силой P , Нм.

Сделав допущение об абсолютной жесткости опорной поверхности трактора, момент сил, используемый в выражении (5) можно представить в виде:

$$\begin{aligned} M &= M_p + M_{кр} + M_f = Pe + P_{кр}(h_{кр} \cos \gamma + c \sin \gamma) + P_f h_f = \\ &= P(e + \varphi_{кр}(a + c \sin \gamma) + fh_f) \end{aligned} \quad (6)$$

где $\varphi_{кр}$ – коэффициент использования сцепного веса; $\varphi_{кр} = P_{кр}/P$; f – коэффициент сопротивления, $f = 0,07 \dots 0,15$; h_f – смещение силы перекачивания

P_f от реакции почвы, $hf = 0,015...0,029$, м; γ – угол отклонения $R_{кр}$ относительно оси Ox .

$$PI = P + 2P(e + \varphi_{кр}(h_{кр} \cos \gamma + c \sin \gamma) + f hf)x/a^2 \quad (7)$$

Учитывая выражение (7) для плоского штампа уравнение (4) преобразуем

$$p(x) = P \left(1 + 2 \frac{x(e + \varphi_{кр}(h_{кр} \cos \gamma + c \sin \gamma) + fh_f)}{a^2} \right) / \pi \sqrt{a^2 - x^2} \quad (8)$$

По уравнению (8) по краям участка контакта (при $x = \pm a$) давление не ограничено и стремится к бесконечности, хотя имеет конечное значение. Данная задача решается на основе предположения о несоответствии длины пятна контакта и длины самого контактируемого тела.

$$b = ka \quad (9)$$

где b – длина пятна контакта, a – длина тела, м; k – поправочный коэффициент.

$$k = \sqrt{1 + \frac{P^2 \left(1 + 2 \frac{(e + \varphi_{кр}(h_{кр} \cos \gamma + c \sin \gamma) + fh_f)}{\pm a} \right)^2}{p_{max}^2 \pi^2 a^2}} \quad (10)$$

где p_{max} – максимальное давление на краю контакта шириной $2a$ полученное экспериментальным путем;

Для трактора Т-170М1.03-55 при максимальном давлении передней части опорной поверхности 166 кПа $k = 1,041$, а полудлина $b = 1,5$ м [4, с.14].

Участок распределения давления разделяется на интервалы: $-b$; $-a$; $-a$; $+a$ и $+a$; $+b$. На участке $-b$; $-a$ и $+a$; $+b$ давление убывает до минимума.

Распределение давлений по участку плоского контакта гусеничного движителя с полужесткой подвеской с почвой имеет следующий вид:

$$p(x) = \begin{cases} \beta_1 e^{-\alpha(a+x)^2}; (-b \leq x < -a) \\ P \left(1 + 2 \frac{x(e + \varphi_{кр}(h_{кр} \cos \gamma + c \sin \gamma) + fh_f)}{a^2} \right) / \pi \sqrt{a^2 - x^2}; (-a \leq x \leq a) \\ \beta_2 e^{-\alpha(a-x)^2}; (-a < x \leq b) \end{cases} \quad (11)$$

где β_1 , β_2 , α – коэффициенты, зависящие от нагрузки, приходящийся на единичный движитель, усилия на крюке трактора и точки ее приложения, длины опорной поверхности и физико-механических свойств почв.

Таким образом, предложенная математическая модель (11) может быть использована для практических расчетов распределения давления гусеничного движителя с полужесткой подвеской на почву.

Список литературы:

1. Халиуллин К.З., Киекбаев Т.И., Лукъянов С.А., Гайнуллин И.А. Ресурсосберегающие технологии возделывания зерновых культур в степных агроландшафтах Республики Башкортостан // Достижения науки и техники АПК. 2010. № 1. С. 34-35.
2. Гайнуллин И.А., Хисаметдинов Р.Р., Ефимов А.В. Эффективность работы посевных комбинированных агрегатов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2010. № 3. С. 10-12.
3. Латыпов Р.М., Печерцев Н.А., Гайнуллин И.А. Комбинированная машина для активной обработки почвы с одновременным формированием гряды под картофель // Вестник ЧГАУ. Челябинск. 1998. Т. 24. С. 63-67.
4. Гайнуллин И.А. Снижение уплотняющего воздействия гусеничного трактора на почву. Дис... канд. техн. наук. Челябинск. 2002. 159 с.
5. Гайнуллин И.А. Воздействие гусеничного трактора на почву и эффективные пути его снижения // Вестник ЧГАУ. Челябинск 2005. Т. 45. С. 48-49.
6. Гайнуллин И.А., Костюченко В.И., Зайнуллин А.Р. Повышение тягово-сцепных и экологических показателей гусеничного трактора // Вестник федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина. 2009. № 1. С. 62-65.
7. Штаерман И.Я. Контактная задача теории упругости. М. 1949. 269 с.
8. Цытович Н.А. Механика грунтов. М.: Машстройиздат, 1951. 536 с.

© 2015, Гайнуллин И.А.

Моделирование распределения давления
гусеничного трактора на почву

© 2015, Gainullin I.A.

Simulation of pressure distribution of the crawler
tractor on the ground