

ЖДАНОВИЧ Ч. И., канд. техн. наук, доц.  
доцент  
E-mail: chzhdanovich@bntu.by

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 07.08.2023.

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ ПОД ГУСЕНИЧНЫМ ДВИЖИТЕЛЕМ С УПРУГИМИ ТРАКАМИ

*Повысить эффективность сельскохозяйственного трактора и уменьшить давление на почву можно, установив на него гусеничный движитель с упругими траками, например, используя пневматическую гусеницу или гусеницу с резинокордными траками. Для разработки конструкции и выбора рациональных параметров такого движителя необходимо знать закономерности распределения давлений под гусеницей, взаимосвязь параметров гусеничного движителя и максимальных давлений, возникающих под ним. Рассмотрен процесс взаимодействия гусеницы с деформируемым основанием и установлены зависимости распределения давлений под гусеничным движителем с упругими траками от его конструктивных параметров и физико-механических свойств почвы. Получены теоретические зависимости для определения максимальных давлений под опорными катками пневмогусеничного движителя. Они позволяют строить эпюры и определять закономерности распределения давлений под гусеничным движителем с упругими траками, выбирать параметры движителя по критерию допустимых давлений на почву. Расчетные эпюры распределения давлений качественно и количественно согласуются с экспериментальными эпюрами, расхождение максимальных давлений не превышает 20 %.*

**Ключевые слова:** сельскохозяйственный трактор, ходовая система, гусеница с упругими траками, пневмогусеница, резинокордные траки, зависимости для определения давлений, давление на почву.

### Введение

На сельскохозяйственных тракторах используются два типа движителей – колесные и гусеничные. Исторически колесо прошло следующие этапы своего развития: металлический обод, обрешиненный обод, пневматическая шина. Развитие гусеницы отстает от колеса, до сих пор эксплуатируются металлические гусеницы, последние десятилетия широко используются резиноармированные гусеницы [1–4]. Следующим этапом развития должна стать гусеница с упругими траками: пневматическая, пенозаполненная [5–7], с эластично-упругими опорами [8], с резинокордными траками [9–11].

Экспериментальные исследования показали, что использование пневматических гусениц и гусениц с резинокордными траками вместо металлических позволяет уменьшить давление на почву на 44–56 % [5–7, 11].

Равномерность распределения давления по длине гусеничного движителя гусеница с

упругими траками зависит от параметров его ходовой части и от физико-механических свойств почвы. Гусеница с упругими траками представляет собой гибкую нерастяжимую ленту, движущуюся по деформируемому основанию. Исследования взаимодействия гусеницы, представленной в виде гибкой нерастяжимой ленты приведены в работах [12–19]. Особенностью же гусеницы с упругими траками является то, что гибкая нерастяжимая лента взаимодействует со сложно-деформируемой системой, состоящей из упругих элементов и почвы.

Цель работы – теоретически исследовать процесс взаимодействия упругих элементов гусеницы с деформируемым основанием и установить зависимость максимальных давлений под гусеничным движителем с упругими элементами от его конструктивных параметров и физико-механических свойств почвы.

Исследования проведены на примере пневматической гусеницы.

### Особенности взаимодействия пневматической гусеницы с деформируемым основанием

Прогиб гусеницы между опорными катками возможен лишь при условии, что под каждым катком грунт и пневмоэлемент гусеницы дает осадку, которая частично восстанавливается после прохода катка (рисунок 1). При этом нужно учитывать, что пневматические элементы могут быстрее восстанавливать свои размеры, чем почва, и, таким образом, поддерживать активное давление между опорными катками.

В пределах существующих скоростей движения сельскохозяйственных тракторов можно принять, что прогиб пневмогусеницы обусловлен как деформацией пневмоэлементов, так и деформацией почвы.

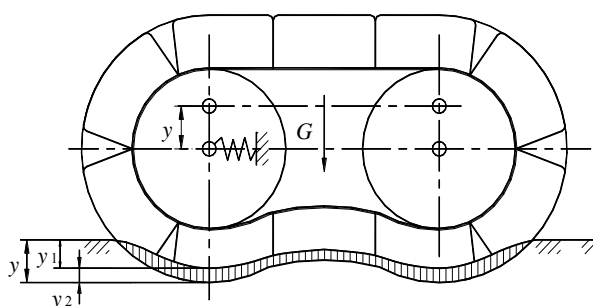


Рисунок 1 – Схема совместной деформации почвы и пневмогусеницы под действием нагрузки

При агротехнически допустимых давлениях движителя на почву ( $q \leq 80\text{--}120$  кПа) [6], целесообразно [20] использовать линейную модель деформации почвы:

$$q = k \cdot y_1, \quad (1)$$

где  $q$  – давление на почву;  $k$  – коэффициент объемного смятия почвы;  $y_1$  – деформация почвы.

Зависимость нормальной деформации пневмоэлементов гусеницы от нагрузки, в пределах допустимой деформации, также линейная [5]:

$$q = c_z \cdot y_2, \quad (2)$$

где  $c_z$  – удельная нормальная жесткость пневмоэлемента;  $y_2$  – деформация пневмогусеницы.

Решая уравнения (1) и (2) совместно, приняв  $y = y_1 + y_2$  получим зависимость деформации сложной системы от величины давления:

$$q = k_{np} \cdot y, \quad (3)$$

где  $k_{np} = c_z \cdot k / (c_z + k)$  – приведенный коэффициент жесткости.

### Распределение давления под средними катками пневмогусеничного движителя

Для получения зависимостей распределения давлений, рассмотрим схему пневмогусеничного движителя (рисунок 2), состоящего из пневматической гусеницы, растянутой усилием  $T$  и трех опорных катков. Контактная поверхность пневмогусеницы, в общем случае, представляет собой ряд последовательно расположенных площадок. В статике эпюра распределения давлений в контакте такого движителя с опорной поверхностью представляет собой дискретные пики (рисунок 2, *b*). Во время движения они очерчивают, замеряемую экспериментально, эпюру давлений  $q$ . Большая часть нагрузки воспринимается пневмоэлементами, находящимися под опорными катками. Часть нагрузки, благодаря натяжению гусеницы и упругим свойствам пневмоэлементов и почвы, воспринимается пневмоэлементами, находящимися между катками. Причем, величина максимального давления под опорными катками зависит от его положения относительно пневмоэлементов. Давление под катком будет максимальным, когда он находится над серединой пневмоэлемента [5]. Рассмотрим экстремальный случай. Примем, что  $i$ -й каток расположен над серединой пневмоэлемента (рисунок 2, *a*). Допустим, что нагрузка  $G_i$ , приходящаяся на него, передается на почву участком пневмогусеницы АЕ:  $a_{i-1} / 2 + a_i / 2$ . Справедливость такого допущения подтверждается экспериментальными эпюрами распределения давлений пневмогусеничных движителями [5], из которых видно, что минимум давления, как правило, находится в точке, лежащей на середине межкаткового расстояния. Следовательно, нагрузка от катка передается участком пневмогусеницы, распространяющимся от него до середины межкаткового расстояния, при этом уменьшаясь от максимума под катком до минимума на середине межкаткового расстояния.

Преобразуем действительную эпюру давлений на участке АЕ (рисунок 2, *b*) в условную эпюру (рисунок 2, *c*). Объем условной эпюры равен объему заштрихованных участков действительной эпюры в интервале АЕ. Величины давлений на обоих эпюрах связаны между собой зависимостью:

$$q_0 = q / (k_{np} k_i), \quad (4)$$

где  $q_0$  – давление на условной эпюре;  $q$  – действительное давление;  $k_{qp} = q_{p \max} / q_{pm}$  – коэффициент неравномерности распределения давления пневмоэлементом, представляющий собой отношение максимального  $q_{p \max}$  и среднего  $q_{pm}$  давления на опорную поверхность по пятну контакта пневмоэлемента [5];  $k_i = t/l$  – коэффициент плотности расположения пневмоэлементов, равный отношению шага  $t$  пневмогусеницы к длине  $l$  пневмоэлемента.

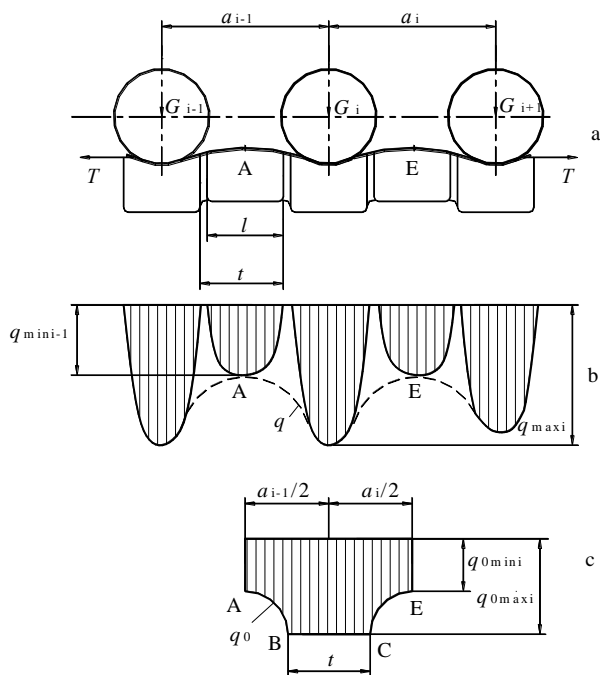


Рисунок 2 – Расчетная схема распределения давлений под средним опорным катком пневмогусеничного движителя:  $a$  – схема движителя;  $b$  – действительная эпюра давлений;  $c$  – условная эпюра давлений

Рассмотрим условную эпюру. Она имеет три участка: ВС, АВ и СЕ. На участке ВС максимальные давления  $q_{0 \max i}$ . Они действуют на пневмоэлемент находящийся под опорным катком. Нагрузку  $G_{ii}$  на участок ВС, как видно из рисунка, можно выразить уравнением:

$$G_{ii} = b \cdot t \cdot q_{0 \max i}, \quad (5)$$

где  $b$  – ширина пневмогусеницы.

На участках АВ и СЕ давления возникают вследствие восстановления упругих деформаций пневмоэлементов и почвы. Равновесие силовой ленты пневмогусеницы (рисунок 3) описывается известным уравнение нити, лежащей на упругом основании:

$$T \cdot \frac{d^2 y}{dx^2} - b \cdot k_{np} \cdot y = 0,$$

где  $T$  – сила натяжения пневмогусеницы.

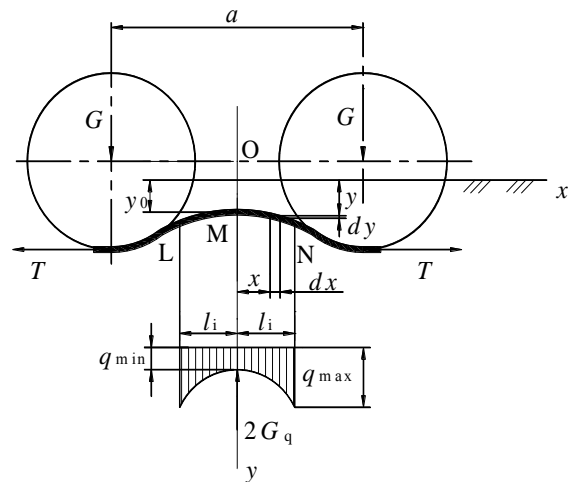


Рисунок 3 – Схема распределения давлений пневмогусеничной лентой между катками

Решение этого дифференциального уравнения известно и имеет вид:

$$y = y_0 \cdot \cosh(k_0 \cdot x), \quad (6)$$

где  $y_0$  – деформация почвы и пневмогусеницы на середине межкаткового расстояния,  $k_0 = \sqrt{b \cdot k_{np} / T}$  – вспомогательный коэффициент.

Подставляя уравнение (6) в (3) получим:

$$q = k_{np} \cdot y_0 \cdot \cosh(k_0 \cdot x), \quad (7)$$

Просуммировав давления на гусеницу на участке  $l_i = (a - t) / 2$ , определим нагрузку  $G_q$ , приходящуюся на этот же участок:

$$G_q = y_0 \cdot \frac{b \cdot k_{np}}{k_0} \cdot \sinh(k_0 \cdot l_i), \quad (8)$$

Выражая  $y_0$  из формулы (8) и подставляя его в формулу (7), получим уравнение, характеризующее распределение давлений на участке LN (рисунок 3):

$$q = \frac{G_q \cdot k_0 \cdot \cosh(k_0 \cdot x)}{b \cdot \sinh(k_0 \cdot l_i)}.$$

В точках N и L при  $x = l_i$  и  $x = -l_i$  давления достигают максимума,  $q_{\max}$ :

$$q_{\max} = \frac{G_q \cdot k_0}{b \cdot \tanh(k_0 \cdot l_i)} . \quad (9)$$

В точке М при  $x = 0$  давления достигают минимума,  $q_{\min}$  :

$$q_{\min} = \frac{G_q \cdot k_0}{b \cdot \sinh(k_0 \cdot l_i)} .$$

Неравномерность распределения давления можно оценивать отношением  $q_{\max}$  к  $q_{\min}$  :

$$q_{\max} / q_{\min} = \cosh(k_0 \cdot l_i) \quad (10)$$

Нагрузку, приходящуюся на участки пневмогусеницы АВ и СЕ (рисунок 2, с), выразим из зависимости (9), используя обозначения, принятые на рисунок 2: на участок АВ:

$$G_{qi-1} = q_{0\max i} \cdot b \cdot \tanh(k_0 \cdot l_{i-1}) / k_0 , \quad (11)$$

на участок СЕ

$$G_{qi} = q_{0\max i} \cdot b \cdot \tanh(k_0 \cdot l_i) / k_0 . \quad (12)$$

Нагрузка на каток  $G_i$ , передаваемая на грунт участком пневмогусеницы АЕ, равна сумме нагрузок, приходящихся на участки АВ, ВС и СЕ, т. е.

$$G_i = G_{qi-1} + G_{ii} + G_{qi} . \quad (13)$$

Решая совместно уравнения (5), (11–13) относительно  $q_{0\max i}$  и переходя к действительным давлениям с учетом зависимости (4), определим максимальное давление под  $i$ -м катком

$$q_{\max i} = \frac{k_{qp} \cdot k_i \cdot k_0 \cdot G_i}{b \cdot [k_0 \cdot t + \tanh(k_0 \cdot l_{i-1}) + \tanh(k_0 \cdot l_i)]} . \quad (14)$$

Решая совместно уравнения (14) и (10) определим минимальные давления под  $i$ -м катком, соответственно в точках А и Е

$$q_{\min i-1} = \frac{k_{qp} \cdot k_i \cdot k_0 \cdot G_i}{b \cosh(k_0 l_{i-1}) [k_0 t + \tanh(k_0 l_{i-1}) + \tanh(k_0 l_i)]} , \quad (15)$$

$$q_{\min i} = \frac{k_{qp} \cdot k_i \cdot k_0 \cdot G_i}{b \cosh(k_0 l_i) [k_0 t + \tanh(k_0 l_{i-1}) + \tanh(k_0 l_i)]} . \quad (16)$$

## Распределение давления под крайними катками пневмогусеничного движителя

Распределение давлений пневмогусеницей под крайними катками имеет свои особенности. Условно назовем опорный каток с наклонной гусеничной ветвью – первым, ведущее (натяжное) колесо являющееся одновременно опорным – последним.

Рассмотрим распределение давлений пневмогусеницей под первым опорным катком (рисунок 4). Построим эпюры распределения давлений. На рисунке 4, б действительная эпюра, на рисунке 4, с – условная. Величины максимальных давлений на обоих эпюрах  $q_{\max}$  и  $q_{0\max}$  связаны между собой зависимостью (4). Нагрузка  $G_1$ , приходящаяся на каток, передается на грунт лобовым участком пневмогусеницы АВ, пневмоэлементом находящимся под катком ВС и участком пневмогусеницы СЕ:  $l_1 = (a_1 - t) / 2$  (точка Е находится на середине межкаткового расстояния).

Нагрузки  $G_{i1}$  приходящаяся на участок ВС, и  $G_{q1}$  приходящаяся на участок СЕ, определены ранее и выражаются зависимостями (5) и (12) соответственно.

Определим нагрузку  $G_{q0}$ , приходящуюся на лобовой участок пневмогусеницы АВ. Деформация почвы и пневмоэлементов под лобовым участком гусеницы происходит по направлению вектора абсолютной скорости. Вследствие прогиба ветви на лобовом участке элементарные реакции грунта и пневмоэлементов направлены под разными углами к лобовой поверхности, что усложняет решение задачи. Для упрощения решения задачи примем, что лобовой участок представляет собой ровную поверхность, допустимость такого упрощения обоснована в работе [14].

Просуммировав элементарные реакции на участке АВ, получим нагрузку  $G_{q0}$ . Запишем ее с учетом зависимости (3):

$$G_{q0} = b \cdot k_{np} \int_0^{l_0} y dx . \quad (17)$$

Из геометрических соотношений (рисунок 4, а) и с учетом зависимости (3) получим:

$$y = x \cdot \tan(\alpha) ;$$

$$l_0 = q_{0\max 1} / (k_{np} \cdot \tan(\alpha)) .$$

Подставляя значения  $y$  и  $l_0$  в зависимость (17) и интегрируя, получим:

$$G_{q0} = \frac{b \cdot q_{0\max 1}^2}{2 \cdot k_{np} \cdot \tan(\alpha)}. \quad (18)$$

Нагрузка на первый каток  $G_1$ , передаваемая на почву участком пневмогусеницы АЕ, равна сумме нагрузок, приходящихся на участки АВ, ВС и СЕ, т. е.:

$$G_1 = G_{q0} + G_{r1} + G_{q1} \quad (19)$$

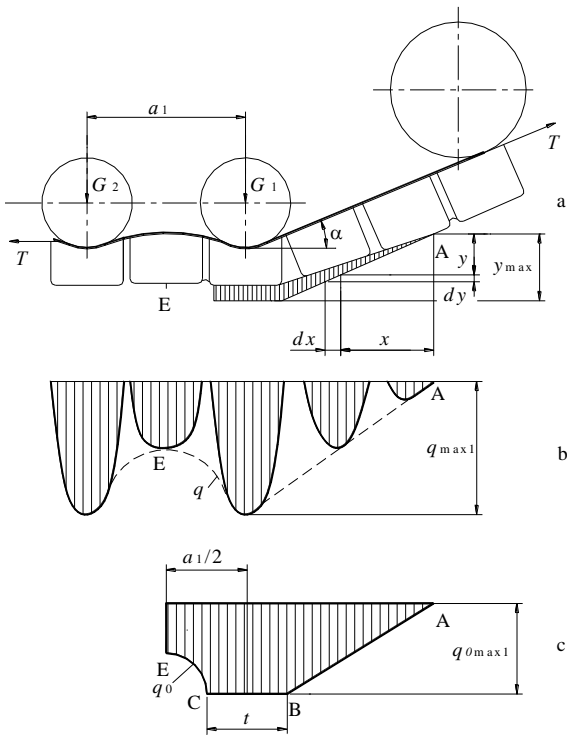


Рисунок 4 – Расчетная схема распределения давлений под передним опорным катком пневмогусеничного движителя: *a* – схема движителя; *b* – действительная эпюра давлений; *c* – условная эпюра давлений

Решая совместно уравнения (5), (12), (18), (19) и переходя к действительным давлениям с учетом зависимости (4), получим:

$$G_1 = \frac{b \cdot q_{\max 1}^2}{2 \cdot k_{np} \cdot k_t^2 \cdot k_{qp}^2 \cdot \tan(\alpha)} + \frac{q_{\max 1} \cdot b \cdot [k_0 \cdot t + \tanh(k_0 \cdot l_1)]}{k_t \cdot k_{qp} \cdot k_0}. \quad (20)$$

Полученное квадратное уравнение легко решается относительно  $q_{\max 1}$ .

Рассмотрим случай, когда роль первого или последнего опорного катка выполняет натяжное или ведущее колесо (рисунок 5). Построим действительную (рисунок 5, *b*) и условную (ри-

сунк 5, *c*) эпюры давлений. Нагрузка  $G_{qn-1}$ , приходящаяся на участок СЕ определяется зависимостью (11), на участок ВС приходится нагрузка  $G_{in}/2$ ,  $G_{in}$  определяется зависимостью (5).

Определим нагрузку  $G_{qn}$ , приходящуюся на участок АВ, просуммировав элементарные реакции, приходящиеся на этот участок. С учетом зависимости (3) запишем:

$$G_{qn} = b \cdot k_{np} \cdot \int_0^{l_n} y dx. \quad (21)$$

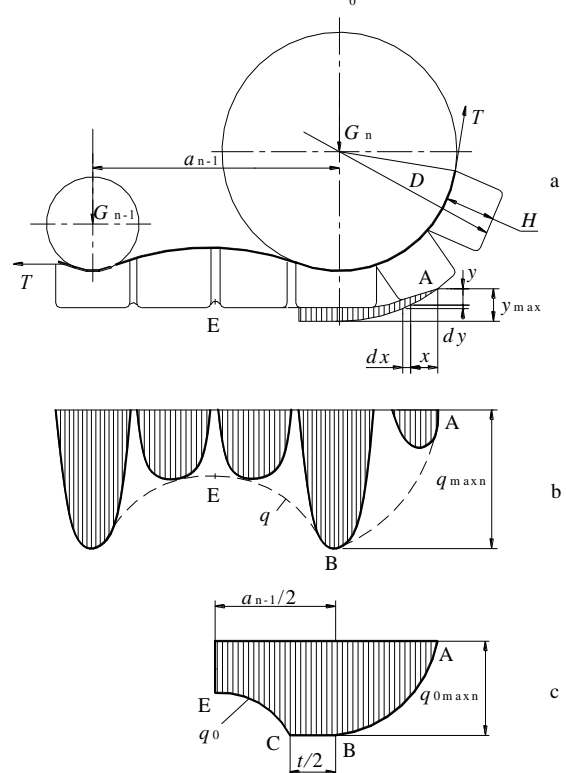


Рисунок 5 – Расчетная схема распределения давлений под последним опорным катком пневмогусеничного движителя: *a* – схема движителя; *b* – действительная эпюра давлений; *c* – условная эпюра давлений

Из геометрических соотношений (рисунок 5, *a*) имеем:

$$x = \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{D}{2} - y_{\max}\right)^2} - \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left[\frac{D}{2} - (y_{\max} - y)\right]^2} \approx \sqrt{D y_{\max}} - \sqrt{D (y_{\max} - y)}$$

Дифференцируя, получим

$$dx = \sqrt{D} dy / (2\sqrt{y_{\max} - y}).$$

Поменяем переменные в уравнении (21)

$$G_{qn} = \frac{6k_{np} \sqrt{D}}{2} \int_0^{y_{max}} \frac{y dy}{\sqrt{y_{max} - y}}$$

Проинтегрируем и с учетом значений получим

$$G_{qn} = \frac{2}{3} \cdot b \cdot \sqrt{\frac{D \cdot q_{0max}^3}{k_{np}}}$$

Просуммируем нагрузку, приходящую на участки АВ, ВС и СЕ и приравняем к нагрузке, приходящейся на колесо

$$G_n = G_{qn-1} + G_m / 2 + G_{qn}$$

Решая совместно уравнения (5), (23) и переходя к действительным с учетом зависимости (4), получим:

$$G_n = \frac{2b}{3} \sqrt{\frac{D q_{maxn}^3}{k_{np} k_{qp}^3 k_t^3}} + \frac{q_{nmax} b [k_0 t / 2 + \tanh(k)}{k_t k_{qp} k_0}$$

Вводя новую переменную  $z = \sqrt{q_{maxn}}$ , получим кубическое уравнение, которое легко решается относительно  $z$ .

### Сравнение теоретических и экспериментальных эпюр распределения давлений

Для проверки адекватности полученных зависимостей (14–16), (20), (24), сравним рассчитанные по ним давления с экспериментальными. Экспериментальные [5] и расчетные (по формулам 14–16) эпюры распределения давлений под участком пневмогусеницы приведены на рисунке 6.

Коэффициент объемного смятия песка, на котором проводились стендовые исследования, приведенный к площади пневматической гусеницы  $k = 1500 \text{ кН/м}^3$ , коэффициент плотности расположения пневмоэлементов  $k_t = 1$ , шаг гусеницы  $t = 0,175 \text{ м}$ , расстояние между катками  $a = 0,528 \text{ м}$ , нагрузка на катки  $G = 10 \text{ кН}$ . Удельная нормальная жесткость пневмоэлементов  $c_z$  и коэффициент неравномерности распределения давления пневмоэлементами  $k_{qp}$  определялись по уравнениям (4) и (8) [5] соответственно. Геометрические параметры пневмоэлементов 400\*175\*130 приведены в таблице 1 [5]. Натяжение гусеницы  $T$  изменялось от 1 кН до 3 кН, давление воздуха

в пневмоэлементах  $p_w$  – от 20 кПа до 100 кПа. Расчетные эпюры распределения давлений качественно и количественно согласуются с экспериментальными эпюрами, расхождение максимальных давлений не превышает 12 %.

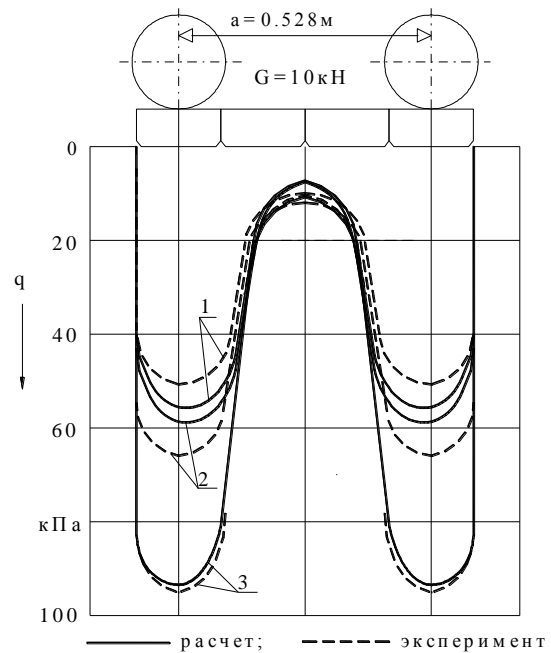


Рисунок 6 – Сравнение экспериментальных и расчетных эпюр распределения давлений под участком пневмогусеницы: 1 –  $T = 1 \text{ кН}$ ,  $p_w = 20 \text{ кПа}$ ; 2 –  $T = 3 \text{ кН}$ ,  $p_w = 60 \text{ кПа}$ ; 3 –  $T = 1 \text{ кН}$ ,  $p_w = 100 \text{ кПа}$

Теоретические (по формулам 14–16 и 24) и экспериментальные эпюры распределения давлений пневмогусеничным двигателем трактора ДТ-75ПГ «Руслан» [21] приведены на рисунке 7. Параметры трактора «Руслан», пневмогусеничного двигателя и торфяника (таблица 1 и рисунок 7) взяты из работ [21–23].

Таблица 1 – Параметры пневмогусеничного двигателя трактора ДТ -75 ПГ «Руслан»

№	Наименование	Значение
1	Шаг пневматической гусеницы $t$ , м	0,316
2	Коэффициент плотности расположения пневмоэлементов $k_t$	1,37
3	Ширина пневмогусеницы $b$ , м	0,65
4	Натяжение опорной ветви пневмогусеницы, кН	8
5	Коэффициент удельной нормальной жесткости пневмоэлемента $c_z$ , кН/м <sup>3</sup>	740
6	Коэффициент неравномерности распределения давлений пневмоэлементом $k_{qp}$	1,19
7	Коэффициент объемного смятия торфяника $k$ , кН/м <sup>3</sup>	1600
8	Диаметр натяжного колеса вместе с пневмогусеницей $D_n$ , м	1,14
9	Диаметр ведущего колеса вместе с пневмогусеницей $D_b$ , м	1,10

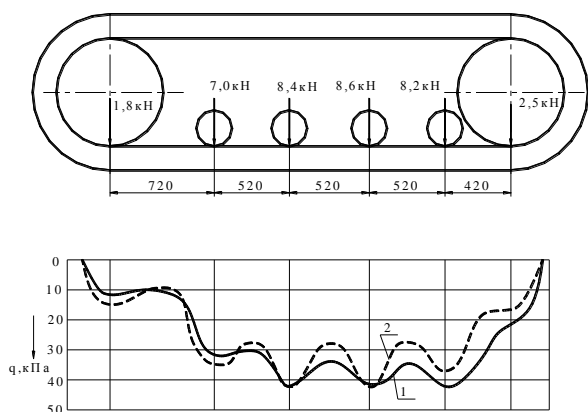


Рисунок 7 – Сравнение экспериментальных и расчетных эпюр распределения давлений под пневмогусеничным двигателем трактора: 1 – расчет; 2 – эксперимент

### Заключение

Получены теоретические зависимости (14–16, 20 и 24) для определения максимальных давлений под опорными катками гусеничного движителя с упругими траками (в частности пневмогусеничного). Они позволяют строить эпюры и определять закономерности распределения давлений гусеничным движителем с упругими траками, выбирать параметры движителя по критерию допустимых давлений на почву. Расчетные эпюры распределения давлений качественно и количественно согласуются с экспериментальными эпюрами, расхождение максимальных давлений не превышает 20 %.

### Литература

1. Performance of an agricultural tractor fitted with rubber tracks / G. Molari, L. Bellentani, A. Guarnieri, M. Walker, E. Sedoni // *Biosystems Engineering*. – 2012. – Vol. 111. – P. 57–63.
2. Rasool, S. Improving the tractive performance of walking tractors using rubber tracks / S. Rasool, H. Raheman // *Biosystems Engineering*. – 2018. – Vol. 167. – P. 51–62.
3. A Simple Rubber Crawler Model for Studying Fluctuation in Crawler Tension / T. Fukushima, E. Inoue, M. Mitsuoka, K. Sato, T. Oguri // *Engineering in Agriculture, Environment and Food*. – 2018. – Vol. 14. – No. 3. – P. 122–126.
4. Коробкин, В. А. Гусеничный трактор общего назначения «Беларус 1802» / В. А. Коробкин // *Международный аграрный журнал*. – 2001. – № 9. – С. 46–48.
5. Zhdanovich, Ch. Experimental study of pneumatic track propulsion systems / Ch. Zhdanovich // *Agricultural Machine Systems*. – SP-1383, SAE, – 1998. – P. 23–28.
6. Boikov, V. Design Development of Elastic Wheel – Track and Traction Susyems of Trachtors and Agricultural Machines / V. Boikov,

Ch. Zhdanovich, S. Sizova // *Belt and Tire Traction in Agricultural Vehicles*. – SP-1291, SAE, – 1997. – P. 95–99.

7. Zhdanovich, Ch. Comparison of wheel, metal-track and pneumatic-track harvester's propulsion systems / Ch. Zhdanovich, V. Boikov // *Journal of Commerical Vehicles, Section 2*. SAE Transactions. – 1999. – Vol. 108. – P. 93–98

8. Эластично-упругая опора транспортного средства: а. с. SU 1439023 / П. В. Зеленый, В. П. Бойков, Ч. И. Жданович, А. М. Статкевич. – опубл. 23.11.88.

9. Лапик, В. П. Совершенствование гусеничного движителя сельскохозяйственного транспортного средства / В. П. Лапик, П. В. Лапик, Е. С. Адылина // *Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии*. – 2021. – № 6 (88). – С. 39–43.

10. Лапик, В. П. Исследование влияния конструктивных параметров гусеничного движителя с эластичными опорными устройствами на неравномерность распределения давления на почву / В. П. Лапик, А. Е. Кузнецов. П. В. Лапик // «Вестник» «МГАУ им. В. П. Горячкина». *Агроинженерия*. – 2017. – № 3(79). – С. 7–12.

11. Лапик, В. П. Снижение отрицательного воздействия на переувлажненные почвы гусеничных движителей кормоуборочных машин путем применения резинокордных траков / В. П. Лапик, И. П. Адылин // *Вестник Брянской ГСХА*. – 2011. – № 1. – С. 28–31.

12. Беккер, М. Г. Введение в теорию систем местность-машина / М. Г. Беккер – Москва, «Машиностроение», 1973. – 520 с.

13. Васильев, А. В. Влияние конструктивных параметров гусеничного трактора на его тягово-цепные свойства / А. В. Васильев, Е. Н. Докучаева, О. Л. Уткин-Любовцев – Москва, «Машиностроение», 1969. – 192 с.

14. Тракторы: Теория / Под общ. ред. В. В. Гуськова. – Москва, Машиностроение, 1988. – 376 с.

15. Забавников, Н. А. Основы теории транспортных гусеничных машин / Н. А. Забавников – Москва, Машиностроение, 1975. – 448 с.

16. Кацигин, В. В. Некоторые экспериментально-теоретические обоснования энергетических средств для мелиоративных и культурно-технических работ на болотах / В. В. Кацигин, Б. Н. Янушкевич // *Труды научно-технической конференции 1956 года*. Минск, Госиздат БССР. – 1958. – С. 42–84.

17. Опейко Ф. А. Колесный и гусеничный ход / Ф. А. Опейко. – Минск, АСХН БССР, 1960. – 228 с.

18. Żdanowicz, Cz. Określenie rozkładu nacisku gąsienicy gumowej na glebę / Cz. Żdanowicz // Problemy inżynierii rolniczej. – Warszawa, 1999. – Nr 1(23). – S. 13–20.

19. Жданович, Ч. И. Давления на почву под резиногоусеничным двигателем трактора / Ч. И. Жданович // Inżynieria systemów bioagrotechnicznych. – 2001. – Zeszyt 8. – S. 319–324.

20. Бойков, В. П. Обоснование зависимости между сжимающими напряжениями и осадкой почвы / В. П. Бойков, Ч. И. Жданович, А. Н. Орда // Ekologiczne aspekty mechanizacji nawożenia, ochrony roślin i uprawy gleby: recenzowane Materiały V Międzynarodowego Sympozjum. – Warszawa. – 1998. – S. 161–168.

21. Танклевский, М. М. Пути снижения затрат энергии на деформирование торфяной залежи ходовыми устройствами мобильных машин / М. М. Танклевский // Торфяная промышленность. – 1981. – № 1. – С. 12–13.

22. Танклевский, М. М. Пневмогусеничный трактор «Руслан» / М. М. Танклевский // Промышленный транспорт. – 1978. – № 12. – С. 13.

23. Танклевский, М. М. Снижение затрат энергии при взаимодействии ходовых устройств с почвой / М. М. Танклевский // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1984. – № 11. – с. 13–15.

UDC 629.3.03

ZHDANOVICH Cheslav I., Ph. D. in Engineering, Associate Professor,  
Associate Professor  
E-mail: chzhdanovich@bntu.by

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Received 05 August 2023

## REGULARITIES OF PRESSURE DISTRIBUTION UNDER A CRAWLER WITH ELASTIC TRACKS

*It is possible to increase the efficiency of an agricultural tractor and reduce the pressure on the soil by installing a crawler with elastic tracks on it, for example, using a pneumatic caterpillar or a caterpillar with rubber-cord tracks. To develop a design and select rational parameters of such a propulsor, it is necessary to know the patterns of pressure distribution under the caterpillar, the relationship between the parameters of the caterpillar propulsor and the maximum pressures arising under it. The process of interaction of a caterpillar with a deformable base is considered and the dependences of the pressure distribution under a crawler with elastic tracks on its design parameters and physical and mechanical properties of the soil are established. Theoretical dependences are obtained for determining the maximum pressures under the support rollers of the pneumatic track mover. They allow you to plot and determine the patterns of pressure distribution under a crawler with elastic tracks, select the parameters of the mover according to the criterion of permissible pressures on the soil. The calculated pressure distribution plots are qualitatively and quantitatively consistent with the experimental plots, the discrepancy of the maximum pressures does not exceed 20 %.*

**Keywords:** agricultural tractor, running system, tracks with elastic tracks, pneumatic track, rubber-cord tracks, dependencies for determining pressures, pressure on the soil

### References

1. Molari G., Bellentani L., Guarnieri A., Walker M., Sedoni E. *Performance of an agricultural tractor fitted with rubber tracks*. Biosystems Engineering, 2012, vol. 111, pp. 57–63.

2. Rasool S., Raheman H. *Improving the tractive performance of walking tractors using rubber tracks*. Biosystems Engineering, 2018, vol. 167, pp. 51–62.