

# МЕХАНИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Известия ТСХА, выпуск 3, 1987 год

УДК 631.372

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ТРАКТОРНЫХ КОЛЕС С ПНЕВМАТИЧЕСКИМИ ШИНАМИ

Р. Ш. ХАБАТОВ, Д. И. ЗОЛОТАРЕВСКАЯ, В. В. МАТВЕЕВ, В. Г. ТРУШИН,  
Г. А. ТРУШИН, В. П. ЛЯДИН

(Кафедра тракторов, автомобилей и ЭМТП, кафедра высшей математики)

Исследовано распределение нормальных контактных напряжений, возникающих в центральной продольной плоскости симметрии колес с шинами 11,2-20 и 16.9R38 при движении трактора МТЗ-142 по практически недеформирующему основанию.

Определены коэффициенты упругости исследованных эластичных колес и установлены их корреляционные зависимости от давления воздуха в шинах и вертикальной нагрузки на ось колеса. Выполнены расчеты показателей деформационных свойств исследованных эластичных колес с использованием найденных по уравнениям регрессии значений коэффициентов упругости. Результаты расчетов согласуются с экспериментальными данными.

Значительный вклад в решение проблемы уменьшения вредного воздействия мобильной сельскохозяйственной техники на плодородие почв может внести применение расчетных методов определения уплотнения почвы колесами машин. Для расчета плотности почвы после проходов колесных тракторов и сельскохозяйственных машин необходимо располагать данными, характеризующими деформационные свойства эластичных колес.

Экспериментально закономерности деформирования колес с пневматическими шинами выявляются чаще всего путем регистрации нагрузок  $G$  и соответствующих этим нагрузкам деформаций  $f$  при нагружении и последующем разгрузении некатящихся колес в стендовых испытаниях. При ступенчатом статическом нагружении постоянными на каждой ступени нагрузками с последующим ступенчатым разгрузением и при нагружении колес непрерывно изменяющимися в течение времени  $t$  по заданному закону циклическими нагрузками  $G(t)$  образуются петли гистерезиса [2, 4, 10].

Другим видом экспериментального исследования закономерностей деформирования эластичных колес является изучение распределения нормальных напряжений  $\sigma(t)$  в плоскости контакта колеса и дороги, возникающих при качении колес по дорогам с твердым покрытием [4, 8, 9]. Эпюры нормальных контактных напряжений выявляют те же свойства эластичных колес, что и диаграммы  $G = G(f)$ , построенные по результатам радиального деформирования некатящихся колес изменяющимися вертикальными нагрузками на ось в стендовых испытаниях. Особенно заметно эти аналоги проявляются, если, исключив время, преобразовать эпюры  $\sigma = \sigma(t)$  в кривые  $\sigma = \sigma(h)$ , где  $h = h(\psi)$  — часть нормального прогиба шины,  $\psi$  — текущее значение угла контакта колеса и основания.

Экспериментальные эпюры напряжений  $\sigma = \sigma(t)$ , возникающих при качении по твердому основанию, получены рядом исследователей [4, 8, 9] для автомобильных колес. Эти эпюры представляют собой несимметричные кривые. Кривые  $\sigma(h)$ , соответствующие эпюрам  $\sigma(t)$  для автомобильных колес, образуют замкнутые петли гистерезиса.

Петли гистерезиса возникают во всех режимах нагружения эластичных колес в результате протекания в шинах при их деформирова-

нии релаксационных процессов, характерных для вязкоупругих материалов [6, 7]. В то же время имеющиеся экспериментальные данные показывают, что для ряда тракторных и автомобильных шин при сравнительно небольших нагрузках петли гистерезиса имеют небольшую ширину — ветвь разгрузки близка к ветви нагрузки. В ряде случаев эти ветви практически совпадают, т. е. затраты энергии на гистерезис настолько малы, что ими можно пренебречь [2].

Исследование свойств шин по эпюрам нормальных контактных напряжений обладает тем преимуществом, что эти эпюры отражают связи  $\sigma(h)$  в реальных условиях деформирования шин при качении колес. Однако для тракторных колес экспериментальных данных о распределении нормальных контактных напряжений при качении колес по твердому основанию в литературе нами не найдено.

Нами были проведены исследования с целью выявления закономерностей деформирования эластичных колес трактора МТЗ-142 с шинами 11,2-20 модели Ф-305 (передние колеса) и 16.9R38 модели Ф-52 (задние колеса).

Эксперименты выполнены в эллинге кафедры тракторов, автомобилей и ЭМТГТ Тимирязевской академии. В опытах измерялись нормальные напряжения в продольных плоскостях симметрии колес, распределенные вдоль линий контакта колес при их качении по практически недеформирующемуся основанию.

Известно, что площади петель гистерезиса, полученных в режиме непрерывного деформирования колес и ряда других материалов и конструкций, не зависят от скорости деформирования [4, 7], а скорость качения (до 80—100 км/ч) практически не влияет на величины напряжений и характер их распределения в контакте шины и твердого основания [4, 8, 9]. Поэтому варьирование скорости в широких пределах в наших опытах не проводилось. Проезды трактора выполнялись с постоянной в каждом опыте скоростью, в различных опытах она изменялась в интервале  $v = 0,3 \div 0,6$  м/с.

В опытах изменяли давление воздуха в шинах передних и задних колес ( $p_{\omega 1}$  и  $p_{\omega 2}$  и вертикальные нагрузки на их оси ( $G_1$  и  $G_2$ ). Изменение вертикальных нагрузок на оси достигалось путем передней навески на трактор МТЗ-142 дополнительных грузов  $Q_1 = 9,42$  кН и  $Q_2 = 12,36$  кН. Нормальные контактные напряжения измерялись тензометрическими датчиками давления мембранного типа. Датчики были смонтированы в почвозацепы переднего и заднего колес трактора МТЗ-142, по одному в каждое колесо, расположенное слева. Центры мембран датчиков находились в центральных продольных плоскостях симметрии соответствующих колес. Осциллограммы распределения нормальных контактных напряжений получены при проездах трактора МТЗ-142 по бетону, на который был насыпан сухой песок слоем 0,5 см. Песок был необходим для обеспечения работы датчиков, мембраны которых углублены от контактной поверхности колес на 0,2 см. Несжимаемость песка и малая толщина его слоя позволяют считать деформации основания, по которому катились колеса, очень малыми, и поэтому ими можно пренебречь. Опыты проведены при небольших значениях крутящих моментов на колесах трактора, в связи с чем считали, что эти моменты практически не влияют на распределение нормальных контактных напряжений [4].

Проведено 9 серий опытов. Величины  $G_1$ ,  $p_{\omega}$  и  $G_2$ ,  $p_{\omega}$  каждой серии опытов приведены в табл. 1. В каждой серии опытов на осциллограммах получено по 8—12 эпюр нормальных контактных напряжений на переднем колесе и по 8 эпюр на заднем колесе. Экспериментальные данные обработаны статистически.

На рис. 1 представлена схема для определения показателей деформирования шины при качении эластичного колеса по недеформирующемуся основанию (принято, что оно горизонтально). Нормальный прогиб шины  $f = R - r_g$  складывается из величины  $CC_u$  равной вертикальному смещению  $OO_1$  оси колеса и величины  $h_m$ :  $f = OO_1 + h_m$ . Здесь  $R$  —

Экспериментальные и расчетные значения коэффициента упругости колес с шинами 11,2-20 и 16,9R38

№ серии опыта	Вертикальная нагрузка на ось колеса, $G$ , кН	Давление воздуха в шине $P_{\text{в}}$ , МПа	Средние за серию опытов значения показателей					Расчетные значения коэффициента упругости шины $E_k$ , МН/м <sup>2</sup>	Относительные отклонения $\delta$ ( $E_k$ ), %
			окружная скорость $v_b$ , м/с	половина угла контакта, $\psi_b$ , град	составляющая $h_m$ прогиба шины, см	длина пятна контакта, $a_k$ , см	коэффициент упругости шины $E_k$ , МН/м <sup>2</sup>		
Шина 11,2-20									
1	7,6	0,26	0,51	13,13	1,29	22,37	90,82	90,82	0
2	7,6	0,18	0,57	13,83	1,43	23,55	71,46	66,91	6,37
3	7,6	0,10	0,74	16,48	2,02	27,94	43,00	43,00	0
4	12,6	0,26	0,42	16,47	2,02	27,93	72,24	73,01	1,06
5	12,6	0,18	0,42	18,30	2,49	30,93	44,66	51,39	15,07
6	12,6	0,10	0,45	19,59	2,85	33,03	33,08	29,77	10,01
7	14,3	0,26	0,32	17,38	2,25	29,43	66,96	66,96	0
8	14,3	0,18	0,36	19,28	2,76	32,52	41,40	46,11	11,37
9	14,3	0,10	0,30	22,94	3,89	38,38	25,26	25,26	0
Шина 16,9R38									
1	18,9	0,26	0,47	14,53	2,70	42,28	58,70	58,70	0
2	18,9	0,17	0,58	15,08	2,90	43,83	46,35	39,25	15,32
3	18,9	0,08	0,60	19,10	4,64	55,14	19,80	19,80	0
4	18,0	0,26	0,39	12,83	2,10	37,42	80,87	76,25	5,71
5	18,0	0,17	0,42	14,92	2,84	43,38	48,13	49,19	2,20
6	18,0	0,08	0,36	18,77	4,48	54,21	20,81	22,11	6,25
7	17,6	0,26	0,37	12,73	2,07	37,12	84,07	84,07	0
8	17,6	0,17	0,37	14,26	2,60	41,52	53,70	53,60	0,19
9	17,6	0,08	0,32	18,33	4,27	52,99	23,14	23,14	0

=  $D/2$ , где  $D$  — наружный диаметр шины,  $r_g$  — динамический радиус колеса. Исследования показывают, что область контакта колеса и основания приближенно может быть представлена эллипсом с осями  $a_h = BB_1$  и  $b_k$ , где  $a_h$  — длина линии контакта колеса и основания в центральном продольном сечении колеса, называемая длиной пятна контакта,  $b_h$  — длина линии контакта колеса и основания в центральном поперечном сечении колеса, называемая шириной пятна контакта [5].

На рис. 1 проведена окружность радиуса  $R$  с центром в точке  $O_1$  и хордой  $B_1B = a_h$ . Эта хорда равна  $a_h = 2R \sin \psi_b$ , где  $\psi_b$  — половина центрального угла окружности, радиуса  $R$ , соответствующего хорде  $B_1B$ . Высота сегмента  $BB_1C$  составляет  $h_m = R(1 - \cos \psi_b)$ .

При обработке осциллограмм в каждом опыте для переднего и заднего колес определены: угловая  $\omega$  и окружная  $v_b = \omega R$  скорости, полный угол  $2\psi_b$  контакта колеса и основания, составляющая  $h_m$  прогиба шины, длина пятна контакта  $a_h$ , а также величины

$$h = R(\cos \psi - \cos \psi_b) \quad (1)$$

в различных точках контакта и соответствующие им нормальные напряжения  $\sigma(d)$ , где  $t = R \sin \psi$ ,  $\psi \in [0, \psi_b]$  — текущим углом контакта колеса и основания. В табл. 1 приведены средние за каждую серию опытов значения  $v_b$ ,  $\psi_b$ ,  $a_h$ ,  $h_m$  и  $h_m$  колес с шинами 11,2-20 и 16,9R38 трактора МТЗ-142. Напряжения  $\sigma(d)$  на колесах изменялись в интервале  $\sigma \in [0; 1,6]$  МПа. Различные опыты одной и той же серии (при  $p_{\text{в}} = \text{const}$  и  $G = \text{const}$ ) были выполнены со скоростями, различающимися в некоторых сериях в 1,5—2 раза. Изменение скорости не оказало влияния на размеры контактной поверхности и нормальные контактные напряжения.

По экспериментальным значениям  $d$ ,  $h$  и  $\sigma(d)$  построены эпюры  $\sigma(d)$  и кривые  $\sigma(h)$ . На рис. 2 соответственно представлены некоторые из типичных эпюр нормальных контактных напряжений  $\sigma(d)$ , полученные при качении по практически недеформирующемуся основанию колес с шинами 11,2-20 и 16,9R38. При высоких значениях давления воз-



$$\sigma = E_k h, \quad (2)$$

где  $E_k$  — коэффициент пропорциональности, принят как коэффициент упругости в центральном продольном сечении колеса с пневматической шиной. (Для краткости будем называть  $E_k$  коэффициентом упругости шины.)

При работе тракторов на почве напряжения  $\sigma < 0,3$  МПа в результате увеличения площади контакта шины и основания, поэтому эластичные колеса с шинами 11,2-20 и 16.9R38 деформируются как линейно упругие при всех допустимых значениях  $G$  и  $p_\omega$ .

Нелинейные зависимости  $\sigma(h)$  приближенно могут быть заменены линейными.

В табл. 1 приведены полученные в результате статистической обработки экспериментальных данных значения коэффициентов упругости  $(E_k)_1$  и  $(E_k)_2$  колес с шинами соответственно 11,2-20 и 16,9R38. Приведенные здесь значения  $E_k$  представляют собой параметры уравнения (2), найденные путем обработки методом наименьших квадратов экспериментальных зависимостей между  $\sigma$  и  $h$  в каждой серии опытов.

Получены корреляционные зависимости коэффициентов упругости колес с изучаемыми шинами 11,2-20 и 16,9R38 от основных влияющих на них факторов. Параметры математических моделей найдены путем применения методики обработки данных полного факторного эксперимента типа  $2^2$  [1].

Зависимости коэффициентов упругости шин  $(E_k)$ , МН/м<sup>3</sup> от основных влияющих факторов описаны уравнением

$$(\hat{E}_k)_l = (a_0)_l + (a_1)_l x_1 + (a_2)_l x_2 + (a_3)_l x_1 x_2, \quad (3)$$

где  $x_1$  — давление воздуха в шине, МПа;  $x_2$  — вертикальная нагрузка на ось колеса, кН;  $a_0, a_1, a_2, a_3$  — коэффициенты;  $l$  — номер колеса (1 — для колеса с шиной 11,2-20, 2 — с шиной 16,9R38).

В модели (3), представляющей собой неполный полином второй степени, нелинейный член  $(a_3)_l x_1 x_2$  выражает эффект взаимодействия факторов.

Для каждого фактора были выбраны основной уровень и по два уровня, равно отстоящих от основного (нижний и верхний). Для упрощения записи условий эксперимента и обработки данных выполнено преобразование старой системы координат  $\tilde{x}_1 O_1 \tilde{x}_2$  натуральных значений переменных  $\tilde{x}_j$  ( $j$  — номер фактора) в новую систему координат  $x_j O x_2$  кодированных значений переменных  $x_j$ . Начало  $O$  системы  $x_1 O x_2$  принято расположенным в точке, имеющей в старой системе координаты основных уровней факторов. Масштабы по осям координат системы  $x_1 O x_2$  выбраны так, чтобы верхние уровни факторов равнялись +1, а нижние — 1. Это получено путем преобразования

$$x_j = (\tilde{x}_j - \tilde{x}_{j_0}) / I_j,$$

где  $\tilde{x}_{j_0}$  — натуральное значение основного уровня,  $I_j = |\tilde{x}_j - \tilde{x}_{j_0}|$  — интервал варьирования фактора.

Т а б л и ц а 2

Матрица планирования и результаты экспериментов типа  $2^2$  с учетом эффекта взаимодействия факторов для шин 11,2-20 и 16,9R38

Номер опыта в матрице	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_1 x_2$	$(E_k)_l$	Средние значения результатов параллельных опытов	
						шина 11,2-20 $(E_k)_1$ , МН/м <sup>3</sup>	шина 16,9R38 $(E_k)_2$ , МН/м <sup>3</sup>
I	+	+	+	+	$(E_k)_1$	66,96	58,70
II	+	—	+	—	$(E_k)_2$	25,26	19,80
III	—	+	—	+	$(E_k)_3$	43,00	23,14
IV	—	—	—	—	$(E_k)_4$	90,82	84,07

Нижний уровень варьирования давления воздуха в шине 11,2-20 составил 0,1, верхний — 0,26 МПа ( $I_i=0,08$  МПа), а в шине 16,9R38 — соответственно 0,08 и 0,26 МПа ( $I_j=0,09$  МПа); нижний уровень варьирования вертикальной нагрузки на ось для колеса с шиной 11,2-20 равнялся 7,6, верхний — 14,3 кН ( $I_j=3,35$  кН), для колеса с шиной 16,9R38 — соответственно 17,6 и 18,9 кН ( $2^2=0,65$  кН). В табл. 2 даны матрица планирования эксперимента типа  $2^2$  с учетом эффекта взаимодействия факторов и соответствующие результаты опытов, полученные для исследуемых шин. Для упрощения записей в обозначениях нижнего и верхнего уровней единицы опущены, оставлены только знаки плюс и минус. Экспериментальные значения коэффициентов упругости шин ( $E_k$ ), соответствующие опытам, включенным в матрицу, взяты из табл. 1. Они представляют собой средние значения результатов параллельных опытов.

Проверка с помощью критерия Кохрена однородности дисперсий параллельных опытов показала, что гипотеза об однородности дисперсий не противоречит экспериментальным данным, поэтому приведенные в табл. 2 средние значения  $E_k$ , и  $E_k$ , могут быть использованы в расчетах коэффициентов уравнений и регрессии.

В результате обработки методом наименьших квадратов данных, приведенных в табл. 2, определены коэффициенты уравнений регрессии (3). Зависимость коэффициента упругости шины от давления воздуха в шине и вертикальной нагрузки на ось для колеса с шиной 11,2-20 описывается следующим уравнением регрессии с кодированными значения переменных:

$$(\hat{E}_k)_1 = 56,510 + 22,375x_1 - 10,400x_2 - 1,530x_1x_2, \quad (5)$$

а для колеса с шиной 16.9R38 — уравнением

$$(\hat{E}_k)_2 = 46,4275 + 24,9575x_1 - 7,1775x_2 - 5,5075x_1x_2. \quad (6)$$

Проверка адекватности линейных моделей, полученных из зависимостей (5) и (6) путем отбрасывания членов, содержащих произведение факторов, выполнена по критерию Фишера при уровне значимости  $\alpha = 0,05$ . Значения критерия Фишера, рассчитанные по экспериментальным данным для колес с шинами 11,2-20 и 16.9R38, меньше соответствующих им табличных значений, поэтому с принятой доверительной вероятностью линейные модели можно считать адекватными. Из этого следует, что нелинейные модели (5) и (6) также адекватны.

Коэффициенты при независимых переменных в уравнениях регрессии с кодированными значениями факторов указывают на силу влияния факторов. Из уравнений (5) и (6) следует, что основное влияние на коэффициент упругости шины оказывает изменение давления воздуха в шине; с увеличением  $p_\omega - x_1$  коэффициент  $E_h$  возрастает. С повышением вертикальной нагрузки на ось колеса  $G = x_2$  он несколько уменьшается. Влияние  $x_1x_2$  меньше влияния  $x_1$  и  $x_2$  в отдельности. Эти выводы подтверждены в результате проверки значимости коэффициентов уравнений регрессии. Доверительный интервал Да, определенный при 5 % уровне значимости критерия Стьюдента, для коэффициентов уравнения (5) равен 7,25, а для коэффициентов уравнения (6)  $\Delta\alpha=14,2$ . Это показывает, что в уравнении (5) значимы коэффициенты при  $x_1$  и  $x_2$ , а коэффициент при  $x_1x_2$  незначим. В уравнении (6) значим коэффициент при  $x_1$ , а коэффициенты при  $x_2$  и  $x_1x_2$  незначимы. Незначимость коэффициента при  $x_2$  в уравнении (6) объясняется, по-видимому, тем, что был задан малый интервал варьирования этого фактора.

В результате преобразований уравнений (5) и (6) на основании соотношения (3) получены соответствующие им уравнения с натуральными значениями переменных

$$(\hat{E}_k)_1 = 28,896 + 342,264\tilde{x}_1 - 2,076\tilde{x}_2 - 5,708\tilde{x}_1\tilde{x}_2, \quad (7)$$

$$(\hat{E}_k)_2 = -91,278 + 1995,456\tilde{x}_1 + 4,962\tilde{x}_2 - 94,145\tilde{x}_1\tilde{x}_2. \quad (8)$$

Уравнения (7) и (8) удобнее для определения  $E_k$  по заданным натуральным значениям факторов, отличных от основных уровней варьирования.

В табл. 1 приведены значения  $E_k$ , определенные по уравнениям регрессии (7) и (8). Расчеты показали, что эти уравнения и эквивалентные им уравнения (5) и (6) точно описывают экспериментальные данные опытов, включенных в матрицы планирования экспериментов. Для остальных опытов наибольшее относительное отклонение  $\delta(E_k)$  расчетных данных от экспериментальных для шины 11,2-20 не превышает 15,07, а для шины 16.9R38 — 15,32 %. Средние относительные отклонения  $\delta_{cp}(E_k)_1 = 4,88$  %;  $\delta_{cp}(E_k)_2 = 3,30$  %. Значения  $E_k$  определяются по уравнениям (7) и (8) с погрешностью, не превосходящей погрешностей экспериментальных результатов. Это показывает, что уравнения (7) и (8) могут быть использованы для расчетного определения коэффициентов упругости колес с данными шинами.

Значения  $E_k$  определенные по уравнениям регрессии (7) и (8), использованы нами при расчетах углов  $\psi_b$  длины пятна контакта  $a_h$  и составляющих  $h_m$  прогиба шин.

Вертикальная нагрузка на ось тракторного колеса при качении по недеформирующемуся основанию  $G = a_{cp}vF$ , где  $\sigma_{cp}$  — среднее в области контакта нормальное напряжение;  $F = \pi a_h b_h / 4$  — контурная площадь пятна контакта;  $v$  — коэффициент насыщенности рисунка протектора. Напряжение

$$\sigma_{cp} = 2 \int_0^{a_k/2} \sigma(x) dx / \beta a_k, \quad (9)$$

где  $\beta$  — коэффициент, учитывающий неравномерность распределения нормальных контактных напряжений по ширине пятна контакта. Теоретическое исследование и выполненные нами расчеты показали, что  $\beta \approx 1,49$ . После преобразования уравнения (9) с учетом закономерности деформирования эластичных колес (2) и зависимости (1) получим

$$\psi_b - 0,5 \sin 2\psi_b = 4\beta G / \pi v E_k R^2 b_k. \quad (10)$$

В случае, когда значения параметров, входящих в правую часть уравнения (10) известны, из него можно определить угол  $\psi_b$ . Решить уравнение (10) можно каким-либо численным методом (например, методом хорд и касательных) с любой заданной степенью точности [3]. Зная  $\psi_b$ , найдем  $a_k = 2R \sin \psi_b$  и  $h_m = R(1 - \cos \psi_b)$ .

По уравнению (10) определены углы  $\psi_b$  и соответствующие им величины  $\psi_b$  и  $h_m$ . В расчетах использованы данные наших опытов. Значения  $E_k$  в этих расчетах находили по уравнениям регрессии (7) и (8). Учитывалось, что коэффициент насыщенности рисунка протектора  $v$  для шины 11,2-20 равен 0,41, а для шины 16.9R38 — 0,27. Ширину пятна контакта  $b_k$  в каждой серии опытов определяли по формулам, приведенным в работе [5].

Найденные расчетные значения величин  $\psi_b$ ,  $a_k$  и  $h_m$  сопоставлены с экспериментальными данными, приведенными в табл. 1 и 2. Получено, для колеса с шиной 11,2-20 относительные отклонения  $S(\psi_b)$  расчетных значений угла от соответствующих экспериментальных значений не превосходят 5,71 %, среднее относительное отклонение  $\delta_{cp}(\psi_b) = 2,57$  %, среднее квадратическое отклонение  $\delta(\psi_b)$  равно  $\sqrt{\sigma[\delta(\psi_b)]} = 1,68$  %. Относительные отклонения  $S(h_m)$  расчетных значений  $h_m$  от соответствующих экспериментальных значений не превышают 11,69 %, среднее относительное отклонение  $\delta_{cp}(h_m) = 5,14$  %, среднее квадратическое отклонение величины  $\delta(h_m) = \sqrt{\sigma[\delta(h_m)]} = 3,46$  %. Для колеса с шиной 16.9R38 соответственно получено

$$\begin{aligned} \delta(\psi_b) &\leq 6,1 \%; \quad \delta_{cp}(\psi_b) = 2,18; \quad \sigma[\delta(\psi_b)] = 1,99 \%; \\ \delta(h_m) &\leq 15,4 \%; \quad \delta_{cp}(h_m) = 4,56 \%; \quad \sigma[\delta(h_m)] = 3,99 \%. \end{aligned}$$

Во всех сериях опытов для переднего и заднего колеса относительные отклонения  $\delta (a_h)$  расчетных значений длины пятна контакта от соответствующих экспериментальных значений  $a_k$  удовлетворяют неравенство  $\delta (a_h) \leq \delta (\psi_b)$ . Значения  $\delta (\psi_b)$ ,  $\delta (a_k)$  и  $\delta (h_m)$  не превосходят погрешностей определения экспериментальных данных. Таким образом, значения  $E_h$ , полученные по найденным уравнениям регрессии, могут быть использованы при расчетном определении составляющей  $h_m$  прогиба шины /.

При работе тракторов для уменьшения уплотнения почвы необходимо увеличивать до определенного предела деформацию шины. Это может быть достигнуто при уменьшении коэффициента ее упругости, которое обеспечивается в основном снижением давления воздуха в шине и уменьшением вертикальной нагрузки на ось колеса.

Полученные в работе экспериментальные данные и уравнения регрессии (7) и (8) могут быть использованы при определении уплотняющего воздействия колес на почву и для выявления путей предотвращения переуплотнения почвы колесами тракторов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. — М.: Наука, 1976. — 2. Груздев Ю. И. Оценка шин ведущих колес сельскохозяйственных тракторов с помощью безразмерных показателей. Автореферат на соискание ученой степени кандидата технических наук. — Киров, 1972. — 3. Демидович В. П., Марон И. А. Основы вычислительной математики. — М.: Наука, 1970. — 4. Кнороз В. И., Кленников В. И. Шины и колеса. — М.: Машиностроение, 1975. — 5. Ксенович И. П., Скотников В. А., Ляско М. И. Ходовая система — почва — урожай. — Агрпромпиздат, 1985. — 6. Потураев В. Н., Дырда В. И., Круш Н. И. Прикладная механика резины. — Киев: Наукова думка, 1980. — 7. Ржаницын А. Р. Теория ползучести. — М.: Стройиздат, 1968. — 8. Семов Д. С. Исследование силовых соотношений прямолинейно катящегося автомобильного колеса по твердой дороге. — Автореф. диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. М., 1973. — 9. Третьяков О. Б. Исследование взаимодействия протектора автомобильных шин с твердой опорной поверхностью. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. — М., 1972. — 10. Яценко Н. Н. Поглощающая и сглаживающая способность шин. — М.: Машиностроение, 1978.

*Статья поступила 25 ноября 1986 г*

#### SUMMARY

The distribution of standard contact stresses arising in central longitudinal symmetry plane of wheels with 11.2-20 and 16.9R38 tyres when MTZ-142 tractor moves along the base practically not subject to deformation was studied.

Elasticity coefficients of the elastic wheels examined are determined and their correlation with air pressure in tyres and vertical load on wheel axle is established. Tyre deflection is calculated using elasticity coefficient values found by regression equations. The results of calculations agree with the experimental data.