

УДК 629.3.014.2.032:631.431.1

Материал поступил в редакцию 13.01.18.

П. И. ГАДЖИЕВ, доктор техн. наук, профессор

М. М. МАХМУТОВ, доктор техн. наук, доцент

А. И. АЛЕКСЕЕВ, аспирант

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Российский государственный аграрный заочный университет», Российская Федерация, г. Балашиха

М. М. МАХМУТОВ, канд. техн. наук, доцент

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Казанский государственный архитектурно-строительный университет»,

Республика Татарстан, г. Казань

P. I. GADZHIEV, Doctor of Engineering, Professor

M. M. MAKHMUTOV, Doctor of Engineering, Associate Professor

A. I. ALEKSEEV, Post-graduate student

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education

"Russian State Agrarian Correspondence University", Russian Federation, Balashikha

M. M. MAKHMUTOV, Doctor of Engineering, Associate Professor

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kazan State University

of Architecture and Civil Engineering", the Republic of Tatarstan, Kazan

ПУТИ СНИЖЕНИЯ УПЛОТНЯЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ АГРЕГАТОВ НА ПОЧВУ

WAYS TO REDUCE THE SEALING OF THE IMPACT OF AGGREGATES IN THE SOIL

Аннотация. С изменением параметров колесного движителя уплотняющее воздействие агрегатов на почву также изменяется. Уплотняющее воздействие на почву в каждом следе движителя после прохода трактора определяется путем суммирования воздействий числа движителей, перемещающихся по следу первого, и числа движителей, перемещающихся с зазорами относительно первого. Наиболее важным фактором является параметр внутришинного давления, с увеличением которого на 0,1 МПа уплотняющее воздействие на почву повышается в среднем на 260 кН/м. Влияние коэффициентов буксования и объемного смятия почвы незначительно, однако экспериментальные исследования показывают обратное. Почва наиболее сильно уплотняется в переувлажненном состоянии. При буксовании свыше 11 % частота срыва участков почвы зацепами совпадает с собственной частотой колебаний подрессоренных масс трактора над движителем, и система приводится в резонансное состояние. Это приводит к более сильному переуплотнению почвы. По мнению ряда зарубежных специалистов, на ближайшую перспективу в центре внимания будут работы, направленные на снижение неблагоприятного воздействия колес на почву, в частности, на снижение буксования ведущих колес. С целью снижения буксования и снижения вредного воздействия на почву в РГАЗУ изготовлено и испытано устройство противоскольжения для колеса транспортного средства.

Ключевые слова: движитель, колесо, уплотнение, почва, давление, воздействие, агрегат, буксование, устройство, грунтозацеп, тяга, свойства.

Abstract. With the change of the parameters of the wheel drive the sealing effect of the aggregates on the soil also changes. The compacting effect on the soil in each track of the mover after the passage of the tractor is determined by summing the effects of the number of movers moving along the trail of the first, and the number of movers moving with gaps relative to the first. The most important factor is the internal pressure parameter, which increases by 0.1 MPa compacting effect on the soil by an average of 260 kN / m. The influence of the coefficient of towing and bulk soil crushing is insignificant, but experimental studies

show the opposite. The most heavily compacted soil in waterlogged condition. When slipping more than 11 % frequency of failure of soils claws coincides with the natural frequency of oscillation of the sprung masses of the tractor over the engine, and the system is in a resonant state. This leads to a stronger soil re-compaction. According to a number of foreign experts, in the near future, the focus will be on work aimed at reducing the adverse effects of wheels on the ground, in particular, to reduce the towing of driving wheels. In order to reduce slipping and reduce the harmful effects on the soil in RGAZU manufactured and tested anti-skid device for vehicle wheels.

Keywords: propeller, wheel, seal, soil, pressure, impact, Assembly, skidding, device, grouser, pull, properties.

Для установления закономерности изменения и влияния параметров устройств противоскольжения на тягово-сцепные и почвосберегающие свойства проведены экспериментальные исследования.

В связи с этим в задачу исследований входило: установить влияние параметров и количества съемных зацепов на процессы буксования, формирования тяговой способности движителя, сопротивления движению движителей со съемными зацепами, формирования плотности почвы и зоны ее менее уплотненного участка в следе движителя колесного агрегата в условиях эксплуатации его на почвах с низкой несущей способностью.

Программа исследований включала:

разработку методики экспериментальных исследований в соответствии с ГОСТ 7057–2001;

выбор объектов и места проведения экспериментальных исследований согласно ГОСТ 20915–75;

определение планов проведения исследований и оптимальных пределов изменения рассматриваемых факторов на основании ГОСТ 24026–80;

подготовку приборов к работе, определение их погрешностей измерения;

проведение экспериментальных исследований и регистрация измеряемых факторов (параметров) согласно ГОСТ 30745–2001, ГОСТ 3481–79;

подготовку и обработку полученного экспериментального материала в соответствии с ГОСТ 8.207–76.

В качестве объекта экспериментальных исследований были использованы машинно-тракторные агрегаты с тракторами классов 0,6; 0,9; 1,4; 2,0 (таблица).

Краткие характеристики колесных тракторов класса 0,6...2,0

Характеристика	Марка			
	T-25A	T-40A	MT3-80	MT3-1221
Тяговый класс, кН	0,6	0,9	1,4	2,0
Мощность двигателя, кВт	18,38	29,42	58,84	100
Скорости движения, км/ч	1,8...21,6	1,6...26,7	2,5...33,39	2,1...33,8
Габаритные размеры, мм				
Длина	3110	3845	3835	4600
Ширина	1370	1625	1970	2250
Высота	2500	2530	2765	3000
Колея, мм	1100...1500	1200...1800	1350...1850	1500...2265
Размеры шин, в дюймах				
Передних	6,0...16	8,3/8...20	9,0...20	14,9 R24
Задних	9,0...32	12,4/ 11...38	15,5 R38	18,4 R38
Масса с кабиной, кг	1700	2800	3300	5200

Первый образец данной конструкции был изготовлен летом 1989 года на Казанском предприятии «Вторчермет» по технологии, приведенной на рисунке 1. Масса устройства для класса трактора 1,4 составила 25 кг.

С изменением параметров колесного

движителя уплотняющее воздействие агрегатов на почву также изменяется. Приведем основные модели описания взаимодействия тракторного колеса с почвой [1], получившие наибольшее распространение:

$$U_T = \frac{B_1}{2B_a} \sum_{j=1}^n U_j + [U] \left(1 - \frac{nB_1}{2B_a} \right),$$

где U_T – уплотняющее воздействие на почву данным трактором, кН/м; B_1 – ширина зоны влияния уплотняющего воздействия трактора на урожайность сельскохозяйственных культур на поле, м (в ориентировочных расчетах $B_1 = 10,8$ м); B_a – ширина захвата МТА, включающего данный трактор, м; n – общее число следов движителей, оставляемых трактором на поле; U_j – уплотняющее воздействие движителей трактора в j -м следе; $[U]$ – допустимое значение уплотняющего воздействия на почву, кН/м; $[U] = 75$ кН/м – данное значение соответствует ограничительному условию функционирования системы «двигатель-почва».

Уплотняющее воздействие на почву в каждом следе движителя после прохода трактора определяется путем суммирования воздействий числа движителей, перемещающихся по следу первого, и числа движителей, перемещающихся с зазорами относительно первого. Максимальное давление (кПа) одиночного колеса на почву имеет вид:

$$g_{\max} = 1,49 \times 10^{-5} \frac{E_{\text{ш}}^{5/4}}{\sqrt{1 + E_{\text{ш}} / E_0}} \times \left(\frac{104}{p_w} + 134 \right) \frac{G_k^{2/3}}{\sqrt{B_k D_k k}}$$

$$k = 1 - 0,00165x^5; E_{\text{ш}} = 1,59G_k(L_k h_z),$$

где $E_{\text{ш}}$, E_0 – соответственно модули упругости шины и деформации почвы, кПа; G_k – нагрузка на колесо, кН; D_k , B_k – наружный диаметр и ширина профиля шины, м; p_w – внутришинное давление, кПа; h_z – нормальный прогиб шины, м; L_k , B_k – длина и ширина опорной поверхности колеса, м.

Наибольшее распространение расчета нормального прогиба шины получила формула Р. Хедекеля [2]:

$$h_z = \frac{G_k}{\pi p_w \sqrt{B_k D_k}}$$

Анализ результатов статистических испытаний шин показал, что ширина и длина опорной поверхности колеса могут быть определены:

$$L_k = \sqrt{D_k h_z - h_z^2} + \sqrt{D_k (h_z + h_k) - (h_z + h_k)^2}; \sigma_k = 2\sqrt{D_k h_z - h_z^2}$$

В результате интегрирования зависимости напряжения сдвига деформации почвы, предложенной В. В. Кацыгиным, В. В. Гуськов обосновал следующую формулу для определения касательной силы тяги трактора [3]:

$$P_k = \frac{f_{\text{ск}} K_{\tau} G_k}{\delta_{\text{ш}} L_k} \left[\ln ch \frac{\delta_{\text{ш}} L_k}{K_{\tau}} - f_{\text{пр}} \left(\frac{1}{ch \frac{\delta_{\text{ш}} L_k}{K_{\tau}}} - 1 \right) \right] + 2\tau_{\text{ср}} \frac{h_{\text{ш}} L_k}{t_{\text{ш}}}$$

$$f_{\text{пр}} = 2,55 \left(\frac{f_n - f_{\text{ск}}}{f_{\text{ск}}} \right)^{0,825}$$

где $f_{\text{пр}}$, $f_{\text{ск}}$, K_{τ} – соответственно коэффициенты трения покоя, скольжения и деформации, м; $f_{\text{пр}}$ – приведенный коэффициент трения; $\tau_{\text{ср}}$ – напряжение среза почвы, Н/м; $h_{\text{ш}}$, $t_{\text{ш}}$ – соответственно высота и шаг шинного зацепа, м; $\delta_{\text{ш}}$ – коэффициент буксования колеса.

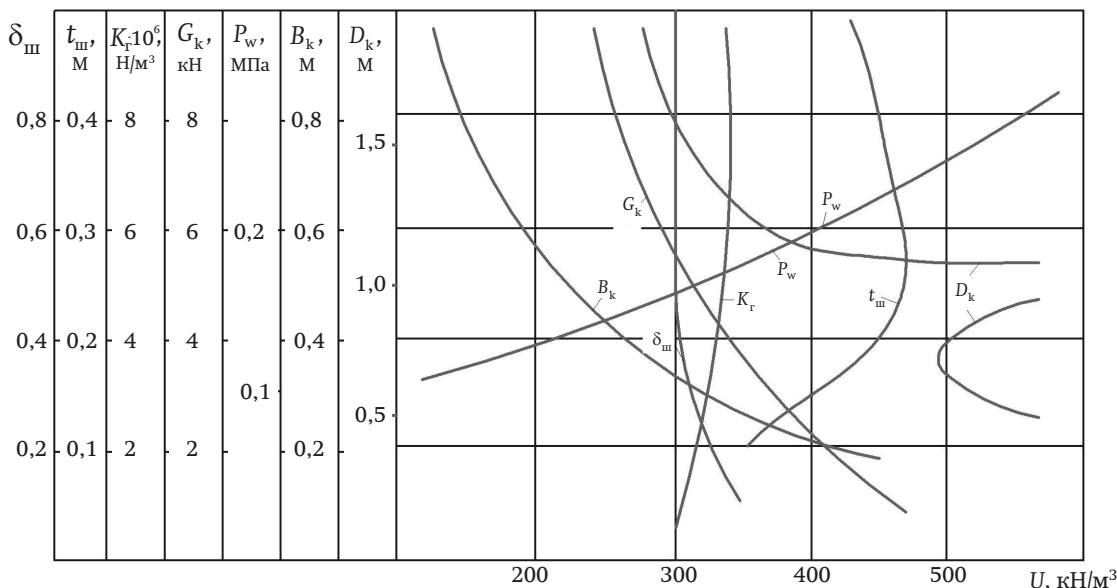


Рисунок 1 – Влияние параметров колесного движителя на уплотняющее воздействие агрегатов на почву: при: $D_k = 1,5$ м; $B_k = 0,3$ м; $p_w = 0,2$ МПа; $G_k = 5$ кН; $K_B = 3 \times 10^6$ Н/м³; $H_k = 0,3$ м; $\delta_k = 0,2$; $t_{\text{ш}} = 0,1$ м; $h_{\text{ш}} = 0,1$ м

Анализ влияния параметров колесного движителя на уплотняющее воздействие агрегатов на почву (рисунок 1) показывает, что наиболее влияемым фактором является параметр внутришинного давления, с увеличением которого на 0,1 МПа уплотняющее воздействие на почву повышается в среднем на 260 кН/м [4].

Влияние коэффициентов буксования и объемного смятия почвы незначительно, однако экспериментальные исследования показывают обратное. Почва наиболее сильно уплотняется в переувлажненном состоянии. При буксовании свыше 11 % частота срыва участков почвы зацепами совпадает с собственной частотой колебаний подресоренных масс трактора над движителем, и система приводится в резонансное состояние. Это приводит к более сильному переуплотнению почвы [5].

В Кировской и Самарской ГСХА [6] ведутся работы по изучению процессов буксования движителей на уплотненность почв. В частности отмечено, что деформационные свойства взаимодействующих тел – пневматической шины и почвы под воздействием статических и динамических нагрузок могут быть описаны реологическим уравнением, предложенным И. И. Водяником. Решая это уравнение относительно деформации шины с учетом буксования и времени взаимодействия с почвой, определяем амплитуду и частоту колебательного изменения деформации. Решая вторую часть уравнения относительно деформации почвы, получаем выражения нормальных и касательных напряжений в ней от динамического воздействия пневматического колеса в зависимости от буксования и времени взаимодействия.

Результаты теоретических исследований подтвердили теоретические предположения. Полученные исследования осциллограммы изменения деформации в шине и в почве показали, что ведущее колесо с шиной 15,5 R38 трактора МТЗ–80 при буксовании свыше 10 % воздействует на почву как вибратор с определенной частотой и амплитудой колебаний. Значения частоты колебаний с возрастанием буксования изменяются по гиперболическому закону, по линейному закону возрастает амплитуда колебаний. Следовательно, увеличиваются напряжения в

почве и время взаимодействия ведущего колеса с почвой.

По мнению ряда зарубежных специалистов [7–10], на ближайшую перспективу в центре внимания будут работы, направленные на снижение неблагоприятного воздействия колес на почву, в частности, на снижение буксования ведущих колес. С целью снижения буксования и снижения вредного воздействия на почву в РГАЗУ по патенту [6] изготовлено и испытано устройство противоскольжения для колеса транспортного средства.

Приспособление (рисунки 2, 3) состоит из кронштейна 1, стойки 2, закрепленной к кронштейну при помощи болтов 3, грунтозацепа 4, соединенного с нижней частью стойки болтовым соединением 5. С целью повышения сопротивления кронштейна изгибающим и крутящим моментам, приварено ребро жесткости 6. Резиновая прокладка 7 служит для смягчения ударного воздействия динамических нагрузок на диск колеса. Загибая развертку кронштейна по линии АС, катеты треугольника приваривают, а вырезанный треугольник СВД в дальнейшем служит ребром жесткости.

Принцип работы заключается в следующем. Для крепления устройства к ободу колеса достаточно отвернуть одну из гаек диска и, совместив с отверстием «а», закрепить кронштейн 1. Далее при помощи болтов 3 к кронштейну 1 крепим стойку 2 с грунтозацепом 4.

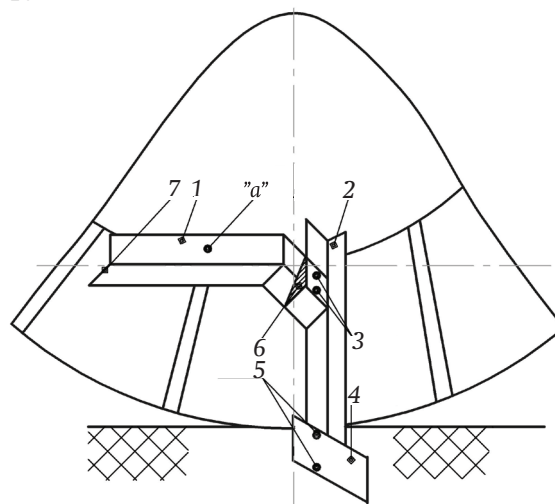


Рисунок 2 – Устройство противоскольжения, закрепленное к диску обода колеса: 1 – кронштейн; 2 – стойка; 3 – болты; 4 – грунтозацеп; 5 – болтовое соединение; 6 – ребро жесткости; 7 – резиновая прокладка

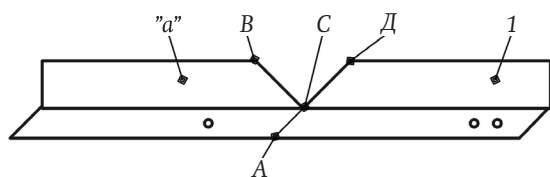


Рисунок 3 – Развертка кронштейна устройства противоскольжения

При качении колеса по почве с низкой несущей способностью зацеп 4 устанавливают на максимальную высоту взаимодействия его с почвой. С повышением плотности почвы высоту за счет болтов 3

уменьшают. При выезде агрегата на дорогу устройство противоскольжения поворотом кронштейна 4 на 180° переводят в транспортное положение.

Преимущество данного устройства заключается в простоте конструкции, позволяющей за счет одной связи крепления к диску обода колеса, монтировать и демонтировать их на движитель транспортного средства. Их можно изготовить из угловой прокатной стали. Экспериментальные исследования показали, что уплотняющее воздействие агрегата на почву снижаются в среднем на 3...4 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ксенович И. П., Скотников В. А., Ляско М. И. Ходовая система почва–урожай. М. : Агропромиздат, 1985. 304 с.
2. Бойков В. П., Белковский В. Н. Шины для тракторов сельскохозяйственных машин. М. : Агропромиздат, 1988. 240 с.
3. Гуськов В. В. Оптимальные параметры сельскохозяйственных тракторов. М. : Машиностроение, 1966. 196 с.
4. Махмутов М. М. Повышение функциональных качеств колесных движителей со съёмными зацепами. Казань: Изд-во Казанского университета. 2006. 160 с.
5. Махмутов М. М. Повышение тягово-сцепных свойств колесных движителей машинно-тракторных агрегатов: дис. ... доктора техн. наук / РГАЗУ. М., 2011.
6. Пат. 106179 Российская Федерация, МПК В 60 В 15/18. Устройство противоскольжения для колеса транспортного средства / Махмутов М. М., Махмутов М. М.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный заочный университет». № 2011108080/11 ; заявл. 02.03.2011 ; опубл. 10.07.2011, Бюл. № 19. 6 с.
7. Пат. 2453445 Российская Федерация, МПК В 60 В 15/22, В 60 В 15/26, В 60 В 15/08. Устройство противоскольжения для колеса транспортного средства / Махмутов М. М.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный заочный университет». № 2010150215/11 ; заявл. 07.12.2010 ; опубл. 20.06.2012, Бюл. № 17. 6 с.
8. Лопарев А. А. Динамическое взаимодействие ведущих колес тракторов МТЗ с почвой // Материалы 9-й науч.-метод. конф. кафедр «Тракторы и автомобили» с/х вузов среднего Поволжья и Предуралья. Казань, 1995. С. 10–11.
9. Сахапов Р. Л. Механико-технологическое обоснование параметров ресурсосберегающих культиваторов : дис. ... доктора техн. наук : 05.20.01. Казань, 2002. 381 с.
10. Sakhapov R. L., Nikolaeva R. V., Gatiyatullin M. H., Makhmutov M. M. Risk management model in road transport systems // Journal of Physics: Conference Series. 2016. Т. 738. № 1. (электронное периодическое издание).
11. Sakhapov R. L., Nikolaeva R. V., Gatiyatullin M. H., Makhmutov M. M. Modeling the dynamics of the chassis of construction machines. Journal of Physics: Conference Series. 2016. Т. 738. № 1. С. 012119. (электронное периодическое издание).
12. Siering G. Telemetrische Messwertübertragung an Siebketten // Agrartechnik. 1980. Bd. 30. № 3. P. 115–117.

REFERENCES

1. Ksenevich I. P., Skotnikov V. A., Lyasko M. I. Khodovaya sistema-pochva-urozhay. M. : Agropromizdat, 1985. 304 p.

2. Boykov V. P., Belkovskiy V. N. Shiny dlya traktorov sel'skokhozyaystvennykh mashin. M. : Agropromizdat, 1988. 240 p.
3. Gus'kov V. V. Optimal'nye parametry sel'skokhozyaystvennykh traktorov. M. : Mashinostroenie, 1966. 196 p.
4. Makhmutov M. M. Povyshenie funktsional'nykh kachestv kolesnykh dvizhiteley so s"emnymi zatsepami. Kazan': Izd-vo Kazanskogo universiteta. 2006. 160 p.
5. Makhmutov M. M. Povyshenie tyagovo-stsepnykh svoystv kolesnykh dvizhiteley mashinno-traktornykh agregatov: dis. ... doktora tekhn. nauk / RGAZU. M., 2011.
6. Pat. 106179 Rossiyskaya Federatsiya, MPK V 60 V 15/18. Ustroystvo protivoskol'zheniya dlya koleasa transportnogo sredstva / Makhmutov M. M., Makhmutov M. M.; zayavitel' i patentoobladatel' Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Rossiyskiy gosudarstvennyy agrarnyy zaochnyy universitet». № 2011108080/11 ; zayavl. 02.03.2011 ; opubl. 10.07.2011, Byul. № 19. 6 p.
7. Pat. 2453445 Rossiyskaya Federatsiya, MPK V 60 V 15/22, V 60 V 15/26, V 60 V 15/08. Ustroystvo protivoskol'zheniya dlya koleasa transportnogo sredstva / Makhmutov M. M.; zayavitel' i patentoobladatel' Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Rossiyskiy gosudarstvennyy agrarnyy zaochnyy universitet». № 2010150215/11 ; zayavl. 07.12.2010 ; opubl. 20.06.2012, Byul. № 17. 6 p.
8. Loparev A. A. Dinamicheskoe vzaimodeystvie vedushchikh koles traktorov MTZ s pochvoy // Materialy 9-y nauch.-metod. konf. kafedr «Traktory i avtomobili» s/kh vuzov srednego Povolzh'ya i Predural'ya. Kazan', 1995. pp. 10–11.
9. Sakhapov R. L. Mekhaniko-tekhnologicheskoe obosnovanie parametrov resursoberegayushchikh kul'tivatorov : dis. ... doktora tekhn. nauk : 05.20.01. Kazan', 2002. 381 p.
10. Sakhapov R. L., Nikolaeva R. V., Gatiyatullin M. H., Makhmutov M. M. Risk management model in road transport systems // Journal of Physics: Conference Series. 2016. T. 738. № 1. (elektronnoe periodicheskoe izdanie).
11. Sakhapov R. L., Nikolaeva R. V., Gatiyatullin M. H., Makhmutov M. M. Modeling the dynamics of the chassis of construction machines. Journal of Physics: Conference Series. 2016. T. 738. № 1. S. 012119. (elektronnoe periodicheskoe izdanie).
12. Siering G. Telemetrische Messwertubertragung an Siebketten // Agrartechnik. 1980. Bd. 30. № 3. pp. 115–117.

*Гаджиев Парвиз Илран оглы, доктор техн. наук, профессор,
декан факультета «Энергетика и охрана водных ресурсов»
E-mail: eiovr@mail.rgazu.ru*

*Махмутов Мансур Магфурович, доктор техн. наук, доцент
Тел. 8 (495) 521-38-85*

*Алексеев Алексей Игоревич, аспирант
143907, Московская область, г. Балашиха, ул. Шоссе Энтузиастов, 50*

*Махмутов Марат Мансурович, канд. техн. наук, доцент
420043, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Зеленая, 1*