

5. Ковалев М.М., Кондрашов В.А. Определенные зависимости движущей силы игольчатой бороны от сопротивления почвы проколу и числа одновременно заглубляющихся игл // Техника и оборудование для села. – 2017. – № 6. – С. 22–25.

6. Экспериментальные исследования игольчатой бороны / В.А. Шейченко [и др.]. – Германия, 2017. – 164 с.

Абрамов Игорь Львович, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный научный центр лубяных культур, Россия.

170041, г. Тверь, Комсомольский просп., 17/56.

Тел.: (4822) 416-110.

Ключевые слова: микрорельеф почвы; механическая прочность; расчетная модель; нормальное распределение.

INVESTIGATION OF THE MICRORELIEF OF THE SOIL LAYER SURFACE AND ITS EFFECT ON THE STRENGTH OF SOIL RESISTANCE TO TILLAGE

Abramov Igor Lvovich, Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher, Federal Scientific Center for Fiber Crops, Russia.

Keywords: soil microrelief; mechanical strength; calculation model; Gaussian distribution.

The lack of the operating elements strength calculating methods providing sufficient accuracy of the results is a significant problem in modern agricultural machinery development. The using calculation models do not take into consideration the microrelief of the treated surface, which leads to a significant error in determining both extreme and long-

term loads on the working bodies of mechanisms. In this article author analyzes the cultivated soil treated surface microgeometry influence on the forces arising in the tillage tool. The existing design model is considered on the needle harrow example, its disadvantages are indicated and a way to eliminate them is proposed. Experimental data on the soil surface profile microroughnesses size study are presented, regularities of the microroughnesses random distribution are revealed, in particular, the assumption of the normal nature of this distribution is confirmed. The dependences based on the obtained data are proposed for a more accurate acting on the tillage tool loads calculation.

DOI 10.28983/asj.y2021i8pp90-94

УДК 631.3:621

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ШИРОКОЗАХВАТНЫХ ДОЖДЕВАЛЬНЫХ МАШИН КРУГОВОГО ДЕЙСТВИЯ

ЖУРАВЛЕВА Лариса Анатольевна, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева

НГУЕН Ван Тхуан, Московский политехнический университет

В процессе полива широкозахватными дождевальными машинами (ДМ) за счет взаимодействия колес с почвой происходит ее уплотнение. При этом колеса ДМ воздействуют на почву с определенным удельным давлением, зависящим от целой совокупности факторов, основными из которых являются длина машины, длина пролета, масса машины, диаметр водопроводящего трубопровода, площадь пятна контакта колеса, определяемого его геометрией, давлением и типом шин. В работе представлены теоретические исследования удельного давления колеса на почву и возможности его снижения. Даны рекомендации по типу и количеству колес, которые необходимо устанавливать на ходовых тележках ДМ на основе сравнения рассчитанного удельного давления конструируемой машины с нормативным воздействием движителей на почву сельскохозяйственной техники.

Введение. Движение широкозахватных ДМ по орошаемому полю – это процесс взаимодействия их колес с почвой [4], вызывающее ее уплотнение. Интенсивное уплотнение приводит к эрозии почвы, тем самым разрушая природную структуру и уменьшая урожайность. Поэтому совершенствование конструктивных параметров широкозахватных ДМ для удовлетворения требованиям ГОСТ по нормативному удельному давлению на почву является актуальной задачей.

Методика исследований. Расчет был проведен с помощью программы Matlab 2017a.

Расчет для ДМ с пневматическими колесами.

Исходные данные для расчета: шины марок 14,9–24, 16–20, 18–24 и 23–26. Основные характеристики приведены в табл. 1 [8–11].

Ширина протектора $B_{пр}$ принимается в зависимости от ширины профиля B [1]:

$$B_{пр} = (0,7 - 0,85)B. \quad (1)$$



Основные характеристики применяемых шин

Тип шин	Характеристики		
	Ширина профиля, дюйм	Посадочный диаметр, дюйм	Наружный диаметр, мм
14,9–24,0	14,9	24	1265
16–20	16	20	1076
18–24	18	24	1400
23–26	23	26	1621

Количество тележек n_t вычисляется следующим образом:

$$n_t = INT \left(\frac{L_M}{l_{пр}} \right), \quad (2)$$

где L_M – длина машины, м; $l_{пр}$ – длина пролета, м.

Длину консоли l_k можно выразить следующим образом, м:

$$l_k = L_M - n_t l_{пр}. \quad (3)$$

В расчете применяются трубопроводы диаметром 159, 168 и 203 мм. Диаметр консоли соответственно составляет 108, 114 и 133 мм.

Площадь рабочего сечения водопроводящего трубопровода вычисляют следующим образом, м²:

$$S_{вт} = \pi \frac{[(d)_{вт} - \Delta d]^2}{4}, \quad (4)$$

где $d_{вт}$ – диаметр водопроводящего трубопровода, м; Δd – толщина трубы, м.

Площадь рабочего сечения трубы консоли рассчитывают следующим образом, м²:

$$S_k = \pi \frac{[(d)_k - \Delta d]^2}{4}, \quad (5)$$

где d_k – диаметр водопроводящего трубопровода, м.

Объем водопроводящего трубопровода определяют по следующей формуле, м³:

$$V_{вт} = S_{вт} n_t l_{пр}. \quad (6)$$

Объем трубы консоли, м³:

$$V_k = S_k l_k. \quad (7)$$

Массу воды в трубопроводе вычисляют следующим образом, кг:

$$m_в = 1000k(V_{вт} + V_k), \quad (8)$$

где k – коэффициент наполнения воды, $k = 0,7$.

Массу машин без воды определяют по выражению, кг [3]:

$$m_m = m_{оп} + n_t m_t + m_{вт} + m_k, \quad (9)$$

где $m_{оп}$ – масса основной опоры; m_t – масса опорной тележки; $m_{вт}$ – масса водопроводящего трубопровода между опорными тележками с системой крепления; m_k – масса консоли.

Массу машины с водой рассчитывают следующим образом, кг:

$$M = m_m + m_в. \quad (10)$$

Определяем вес, приходящий на каждое колесо, Н:

$$Q_k = \frac{9,81M}{2n_t}, \quad (11)$$

Ширина пятна контакта b_k равна ширине протектора $b_k = B_{пр}$. И длина пятна контакта a_k несколько больше ширины пятна контакта (для узких и обычных шин), и равна или несколько меньше ее (для широкопрофильных шин) [1].

Т.е. для шины 14,9–24, 16–20, 18–24: $a_k = 1,1b_k$, а для шины 23–26: $a_k = b_k$.

Площадь пятна контакта вычисляют следующим образом [7]:

для шины 14,9–24, 16–20, 18–24 пятно контакта имеет овальную форму, площадь которой определяют по следующей формуле, м²:

$$A = (a_k - b_k) \cdot b_k + \frac{\pi a_k^2}{4}, \quad (12)$$

для шины 23–26 пятно контакта имеет прямоугольную форму, площадь которой определяют следующей формулой, м²:

$$A = a_k b_k. \quad (13)$$

Отношение ширины шины B к ширине обода $b_{об}$ не должно превышать 1,5. В расчете применяется: $\frac{B}{b_{об}} = 1,35$.

Удельное давление одного колеса на почву рассчитывают следующим образом, Па:

$$P = \frac{Q_k}{A}. \quad (14)$$

Нормативные удельные давления на почву представлены в табл. 2 [2]. Рекомендации по количеству колес на одной тележке определены на основе сравнения удельного давления колеса на почву с нормативным удельным давлением. Расчет был проведен для ДМ, на тележке которых устанавливаются два колеса. Если удельное давление на почву по расчету меньше, чем нормативное удельное давление, то на тележке устанавливаются два колеса. Наоборот, если удельное давление на почву по расчету больше, чем нормативное удельное давление, то тележка должна быть трехколесной.

Достоковую норму полива определяют по следующей формуле, м³/га [5]:

$$m_{дост} = 2850(1,14 - d_k^2) \cdot \frac{j_{ср}}{j_1 K}, \quad (15)$$

где d_k – средний диаметр капель, мм; $j_{ср}$ – интенсивность дождя, мм/мин; j_1 – заданная



Нормативные удельные давления на почву

Влажность почвы в слое 0–30 см	Максимальное давление на почву колесного и гусеничного движителей, кПа, не более		Нормальное напряжение в почве на глубине 0,5 м, кПа, не более	
	весенний период	летне-осенний период	весенний период	летне-осенний период
Свыше 0,9 НВ	80	100	25	30
0,7 НВ до 0,9 НВ включительно	100	120	25	30
0,6 НВ до 0,7 НВ включительно	120	140	30	35
0,5 НВ до 0,6 НВ включительно	150	180	35	45
0,5 НВ и меньше	180	210	35	50

интенсивность дождя, мм/мин; К – коэффициент, учитывающий водопроницаемость почв ($K = 0,6–1,5$).

Несущую способность почвы после полива можно выразить следующим образом, кПа:

$$P_{пп} = P_{дп} - (1,4m_{дост}^{0,65} + 8), \quad (16)$$

где $P_{дп}$ – несущая способность почвы до полива, кПа.

Глубину колеи находят по следующей формуле, м [3, 4]:

$$H = \frac{0,6M}{n_t \cdot 10^3 P_{пп} b_{об} \sqrt{D_k}}, \quad (17)$$

где D_k – наружный диаметр колес, м.

Ширину колеи рассчитывают по выражению, м:

$$B_k = \sqrt{\left(R_{им} + \frac{b_{об}}{2}\right)^2 + H(D_k - H)} - \left(R_{им} - \frac{b_{об}}{2}\right). \quad (18)$$

Расчет для ДМ с жесткими колесами

Ширина и диаметр обода применяемых жестких колес составляют соответственно, м [6]: 0,21 и 0,93.

Длину пятна контакта определяют по следующему выражению, м:

$$a_k = b_k = b_{об}. \quad (19)$$

Пятно контакта жестких колес имеет прямоугольную форму, площадь которой можно выразить, м²:

$$A = a_k b_k. \quad (20)$$

Остальные параметры вычисляют как для ДМ с пневматическими колесами.

Результаты исследований. Расчет был проведен для ДМ КАСКАД с пневматическими и жесткими колесами для двух типов почв: чернозем обыкновенный и темно-каштановый суглинок.

Результаты расчета для ДМ КАСКАД с пневматическими колесами для почвы чернозем обыкновенный и темно-каштановый суглинок представлены в табл. 3.

Как правило, для полива используют нормы полива: 300, 400, 500 и 600 м³/га. При одной норме полива принимаем длины машины: 300, 400, 500, 600 м. При каждой длине машины три длины пролета: 48,7, 59,5, 65,25 м. Для нормы полива 300 м³/га принимаем шины 14,9–20,0, для нормы полива, и 600 м³/га принимаем соответственно следующие шины: 14,9–20 и 16–20, 16–20 и 18–24, 18–24 и 23–26.

Из табл. 3 видно, что при одной и той же длине машины, одном диаметре водопроводящего трубопровода и одном типе шин, чем длиннее пролет машины, тем больше вес, приходящийся на колесо, удельное давление на почву и соответственно глубина колеи.

Заключение. По результатам расчета для почв черноземной зоны можно сделать следующие предварительные выводы.

1. При норме полива 300 м³/га:

для весеннего периода: при длине машины 300 м и длине пролета 65,25 м оптимальным является три колеса на тележке с шинами 14,9–20,0 или два колеса с шинами 16–20;

для летне-осеннего периода: возможно применение на тележке двух колес с шинами 14,9–20,0.

Тогда для использования в течение всего поливного сезона двухколесная тележка с шинами 16–20.

2. При норме полива 400 м³/га:

для весеннего периода: при длине машины 300 м и длине пролета 65,25 м оптимальным является три колеса на тележке с шинами 14,9–20,0 или 16–20, или два колеса с шинами 18–24; при длине машины 400 м и длине пролета 59,5 или 65,25 м оптимальным является три колеса на тележке с шинами 14,9–20,0 или два колеса с шинами 16–20; при длине машины 500 м и длине пролета 59,5 м оптимальным является три колеса на тележке с



Результаты расчета для ДМ КАСКАД с пневматическими колесами

Природные условия			Характеристики машины КАСКАД с пневматическими колесами					Рассчитываемые параметры														
Тип почвы	Норма полива, м ³ /га	Достоковая норма, м ³ /га	Длина машины, м	Длина пролета, м	Диаметр трубопровода, мм	Шины	Вес, приходящийся на колесо, кН	Удельное давление, МПа	Глубина колеи, м	Ширина колеи, м	Нормативные удельные давления, МПа											
											Весенний период	Количество колес	Летне-осенний период	Количество колес								
Чернозем обыкновенный	300	484	300	48,7	159	14,9–20,0	10,506	0,124	0,063	0,281	0,180	2	0,210	2								
				59,5			12,645	0,149	0,076	0,281				2								
				65,25			15,486	0,183	0,094	0,281				3								
			400	48,7			10,505	0,124	0,063	0,281				2								
				59,5			13,816	0,163	0,083	0,281				2								
				65,25			14,018	0,166	0,085	0,281				2								
			500	48,7			10,505	0,124	0,063	0,281				2								
				59,5			13,084	0,155	0,079	0,281				2								
				65,25			14,856	0,176	0,09	0,281				2								
				600			48,7	10,505	0,124	0,063				0,281	2							
							59,5	12,644	0,149	0,076				0,281	2							
							65,25	14,018	0,166	0,085				0,281	2							
			Темно-каштановый суглинок	300			629	300	159	14,9–20,0				10,506	0,124	0,051	0,281	0,180	2	0,210	2	
														59,5	12,645	0,149	0,062				0,281	2
														65,25	15,486	0,183	0,075				0,281	3

шинами 14,9–20,0 или два колеса с шинами 16–20, а при длине пролета 65,25 м оптимальным является три колеса на тележке с шинами 14,9–20,0 или 16–20, или два колеса с шинами 18–24; при длине машины 600 м и длине пролета 65,25 оптимальным является три колеса на тележке с шинами 14,9–20,0 или два колеса с шинами 16–20;

для летне-осеннего периода: при длине машины 300 м и длине пролета 65,25 м оптимальным является три колеса на тележке с шинами 14,9–20,0 или два колеса с шинами 16–20.

3. При норме полива 500 м³/га:

для весеннего периода: при длине машины 300 м и длине пролета 59,5 м оптимальным является три колеса на тележке с шинами 16–20 или два колеса с шинами 18–24, а при длине пролета 65,25 м оптимальным является три колеса на тележке с шинами 16–20 или 18–24, или два колеса с шинами 23–26; при длине машины 400 м и длине пролета 59,5 или 65,25 м оптимальным является три колеса на тележке с шинами 16–20 или 18–24, или два колеса с шинами 23–26; при длине машины 500 или 600 м и длине пролета 59,5 м оптимальным является три колеса на тележке с шинами 16–20 или два колеса с шинами

18–24, а при длине пролета 65,25 м оптимальным является три колеса на тележке с шинами 16–20 или 18–24, или два колеса с шинами 23–26;

для летне-осеннего периода: при длине машины 300 м и длине пролета 65,25 м оптимальным является три колеса на тележке с шинами 16–20 или 18–24, или два колеса с шинами 23–26; при длине машины 400 или 500 м и длине пролета 59,5 или 65,25 м оптимальным является три колеса на тележке с шинами 16–20 или два колеса с шинами 18–24; при длине машины 600 м и длине пролета 65,25 м оптимальным является три колеса на тележке с шинами 16–20 или два колеса с шинами 18–24;

4. При норме полива 600 м³/га.

для весеннего периода: при длине машины 300 м и длине пролета 48,7 или 59,5 м оптимальным является три колеса на тележке с шинами 18–24 или два колеса с шинами 23–26, а при длине пролета 65,25 м оптимальным является три колеса на тележке с шинами 18–24 или 23–26; при длине машины 400, 500 или 600 м и длине пролета 48,7, 59,5 или 65,25 м оптимальным является три колеса на тележке с шинами 18–24 или два колеса с шинами 23–26;



для летне-осеннего периода: при длине машины 300, 400, 500 или 600 м и длине пролета 59,5 или 65,25 м оптимальным является три колеса на тележке с шинами 18–24 или два колеса с шинами 23–26.

Если применить жесткие колеса, то оптимальным является три колеса на тележке с ободом ширины 0,21 м.

Аналогичным образом из предлагаемых вариантов решений следует выбирать ходовое оборудование на весь поливной сезон с минимальным воздействием на почву. При этом из экономических соображений, рационально применение двухколесных ходовых систем с более широкопрофильными шинами, нежели трехколесных узкопрофильных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бояркина И.В., Тарасов В.Н. Аналитическое обоснование параметров и норм слойности пневмошин для наземных транспортных средств // Омский научный вестник – 2017. – № 4(154). – С. 5–9.

2. ГОСТ 26955–86. Техника сельскохозяйственная мобильная. Нормы воздействия движителей на почву. – М.: Изд-во стандартов, 1986.

3. Журавлева Л.А. Ресурсосберегающие широкозахватные дождевальные машины кругового действия: дис. ... д-ра техн. наук. – Саратов, 2018. – 409 с.

4. Журавлева Л.А., Тхуан Н.В. Уменьшение колебания широкозахватных дождевальных машин // Известия МГТУ «МАМИ». – 2020. – № 2(44).

5. Каталог. I-Wob Senninger. Дождеватель для механизированного орошения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.senninger.com – (Дата обращения: 07.03.2021).

6. Машина дождевальная (Фрегат) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.agrobases.ru/catalog/machinery/machinery_

fa1666dc-31df-4775-8631-ebc034572b2f (Дата обращения: 02.03.21).

7. Тарасов В.Н., Бояркина И.В., Дегтярь В.В. Метод расчета грузоподъемности пневмоколеса и прочности каркаса автошины транспортного средства // Строительные и дорожные машины. – 2015. – № 5. – С. 47–52.

8. Шины, диски и камеры для сельскохозяйственной техники [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://uptire.ru/shiny/1249-shina-149-24-128a6-121a8-8-ns-td-19-mitas.html> (Дата обращения: 02.03.21).

9. Шины, диски и камеры для сельскохозяйственной техники [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://uptire.ru/shiny/637-shina-16-70-20-405-70-20-149b-14-ns-31715806al-in-alliance.html> (Дата обращения: 02.03.21).

10. Шины, диски и камеры для сельскохозяйственной техники [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://uptire.ru/shiny/481-shina-184-24-158a6-f-148-12-ns-rosava.html> (Дата обращения: 02.03.21).

11. Шины, диски и камеры для сельскохозяйственной техники [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://uptire.ru/shiny/294-shina-231-26-610-665-152a6-12-ns-ja-242ab-dneproshina.html> (Дата обращения: 02.03.21).

Журавлева Лариса Анатольевна, д-р техн. наук, доцент кафедры «Организации и технологии строительства объектов природообустройства», Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева. Россия.

127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49.

Тел.: +7(917)329-98-12, e-mail: dfz@yandex.ru.

Нгуен Ван Тхуан, аспирант кафедры «Наземные транспортные средства», Московский политехнический университет. Россия.

107023, г. Москва, ул. Большая Семёновская, 38.

Тел.: +7(906)743-72-87,

e-mail: nguyenthuan230593@gmail.com.

Ключевые слова: норма полива; удельное давление; уплотнение; рекомендации.

THE DESIGN PARAMETERS IMPROVEMENT OF WIDE-GRIP SPRINKLER MACHINES OF CIRCULAR ACTION

Zhuravleva Larisa Anatolievna, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the chair "Organizations and Technologies for the Construction of Environmental Facilities", Russian State Agrarian University - MSHA named after K.A. Timiryazev. Russia.

Nguyen Van Thuan, Post-graduate Student of the chair "Terrestrial Transport Vehicles", Moscow Polytechnic University. Russia.

Keywords: irrigation rate; specific pressure; compaction; recommendations.

During the process of irrigation of wide-coverage sprinklers (WS) by the interaction of the wheels with the soil, the soil is pressed. In this case, the WS wheels impact the soil with a certain specific pressure. Specific pressure depends on a number of factors such as the length of vehicle, span length, vehicle weight, the diameter of water line, wheel contact area, determined by wheel geometry, pressure and tire type. The article carries out theoretical investigations determining the specific pressure of the wheel on the soil. It also gives some recommendations connected with a number of wheels to be installed on the WS body compared with the calculated specific pressure of the designed vehicle with the standard specific pressure.

