РАЗДЕЛ X. РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Журавлева Л.А., Тхуан Н.В.

Оптимизация параметров ходовых систем широкозахватных дождевальных машин кругового действия

Московский политехнический университет
(Россия, Москва)

doi: 10.18411/scienceconf-03-2021-28

idsp: scienceconf-03-2021-28

Аннотация

В процессе взаимодействия колес дождевальных машин (ДМ) с почвой создается колея, происходит уплотнение почвы. Для предотвращения создания глубокой колеи и интенсивного уплотнения почвы должны быть выбраны соответствующие ходовые системы с учетом характеристик орошаемых земель и рационального соотношения конструктивных параметров машины таких как длина пролета, диаметр трубопровода и тип шин. Целью исследования является оптимизация параметров ходовых систем широкозахватных ДМ кругового действия. В статье представлены теоретические зависимости для определения глубины и ширины колеи для двухколесных и трехколесных ходовых тележек ДМ, а также области применения их в зависимости от несущей способности почвы, нормы полива и конструктивных особенностей машин. Анализ данных показывает, что для почвы высокой несущей способности при норме полива до 300 м³/га возможно применение узкопрофильных пневматических колес; для средней несущей способности при норме полива 300-500 м³/га – обычные шины; для низкой несущей способности при норме полива более 500 м³/га – широкопрофильные шины.

Ключевые слова: ходовые системы, уплотнение, колея, удельное давление.

Введение. Движение широкозахватных ДМ в процессе полива осуществляется посредством взаимодействия движителей их опорных тележек с почвой, которая одновременно является несущим основанием и объектом увлажнения. Взаимодействие движителей машин сопровождается возникновением сил трения, нормальных и касательных напряжений, вызывающих уплотнение почвы, ее разрушение, образование колеи.

Анализ применения ходовых систем многоопорных ДМ показал, что для повышения проходимости многоопорных широкозахватных ДМ и снижения антропогенной нагрузки на почву целесообразно оборудовать колесными системами с низким уплотняющим воздействием. Необходимы соответствующие теоретико-экспериментальные исследования по обоснованию их параметров.

Рис. 1. Двухколесные и трехколесные опорные тележки ДМ

Как показывает опыт эксплуатации для широкозахватных ДМ кругового действия, глубина колеи имеет несколько большее значение в начале сезона, связанное с более длительным воздействием на почву ходовых тележек, расположенных у основной опоры. И увеличение значений колеи в конце поливного сезона на последних тележках, вызванное повышенным расходом воды через сопло дождевателей и интенсивностью дождя [1-4].

Целью исследования является - оптимизация параметров ходовых систем широкозахватных ДМ кругового действия.

Теоретические исследования.

Ширину колеи для двухколесных тележек ДМ можно определить из выражения:

$$B_K = \left\{ \left(R_{iM} + \frac{b_K}{2} \right)^2 + \frac{0.6(m_{OP} + (\frac{L_M - l_{KOH}}{l_{PP}})m_{T2} + m_{1BT}L_M + m_K)}{n_T [P_{ДП} - (1.4m_{ДОСТ}^{0.65} + 8 \cdot 1.01^{m_{CT}})] b_K \sqrt{D_K}} \right. \\ \cdot \left. \left(D_K - \frac{0.6(m_{OP} + (\frac{L_M - l_{KOH}}{l_{PP}})m_{T2} + m_{1BT}L_M + m_K)}{n_T [P_{ДП} - (1.4m_{ДОСТ}^{0.65} + 8 \cdot 1.01^{m_{CT}})] b_K \sqrt{D_K}} \right)^{0.5} \right\} - \left(R_{iM} - \frac{b_K}{2} \right) \quad (1)$$

где m_{OP} - масса основной опоры;

m_{T2} - масса опорных тележек с двумя колесами;

m_{1BT} - масса участков водопроводящего трубопровода между опорными тележками с системой крепления (шпренгельной системой),

m_K - массы консоли (при наличии);

n_T - количество тележек;

L_M - длина машины;

l_{KOH} - длина консоли;

l_{PP} - расстояние между пролетами.

Для трехколесных тележек:

$$B_K = \left\{ \left(R_{iM} + \frac{b_K}{2} \right)^2 + \frac{0.4(m_{OP} + (\frac{L_M - l_{KOH}}{l_{PP}})m_{T3} + m_{1BT}L_M + m_K)}{n_T [P_{ДП} - (1.4m_{ДОСТ}^{0.65} + 8 \cdot 1.01^{m_{CT}})] b_K \sqrt{D_K}} \right. \\ \cdot \left. \left(D_K - \frac{0.4(m_{OP} + 1.2(\frac{L_M - l_{KOH}}{l_{PP}})m_{T2} + m_{1BT}L_M + m_K)}{n_T [P_{ДП} - (1.4m_{ДОСТ}^{0.65} + 8 \cdot 1.01^{m_{CT}})] b_K \sqrt{D_K}} \right)^{0.5} \right\} - \left(R_{iM} - \frac{b_K}{2} \right) \quad (2)$$

m_{T3} - масса опорных тележек с тремя колесами.

Необходимо учитывать, что масса тележки с тремя колесами за счет большей длины и усиленной рамы составляет порядка $m_{T3} = (1.1 - 1.25)m_{T2}$ т.е. в среднем $(1.1 - 1.25)m_{T2}$.

Глубина колеи для двухколесной тележки ДМ может быть выражена следующей зависимостью [5]:

$$H'' = \frac{0.6(m_{оп} + (\frac{L_M - l_{КОН}}{l_{ПП}})m_{T2} + m_{1BT}L_M + m_K)}{n_T P_{ПП} b_K \sqrt{D_K}} \quad (3)$$

Глубина колеи для трехколесной тележки ДМ:

$$H'' = \frac{0.4(m_{оп} + 1.2(\frac{L_M - l_{КОН}}{l_{ПП}})m_{T2} + m_{1BT}L_M + m_K)}{n_T P_{ПП} b_K \sqrt{D_K}} \quad (4)$$

Теоретические зависимости глубины колеи от несущей способности почвы при различной длине пролетов на примере ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД), построенные в соответствии с выражением (3) представлены на (рис. 2).

Рис. 2. Зависимость глубины колеи от несущей способности почвы для ДМ «Кубань-ЛК1» (КАСКАД) (шины 14,9-24) (труба 159мм) для первой опоры: 1 – пролет 65м; 2 – пролет 59,5м; 3 – пролет 48,7м; 4 – пролет 30м

Рассматривая зависимость величины колеи от несущей способности почвы при различной длине пролетов на примере ДМ «Кубань-ЛК1» (КАСКАД), можно сделать вывод о возможности увеличения пролета до 65 м, при которых величина колеи не превышает нормативных значений при несущей способности более 100 кПа и поливной норме порядка 300-350 м³/га.

Для почв с низкой несущей способностью и машин с длиной пролетов более 59 м рационально применение колес с шинами не менее 16,9-24, а при уменьшении несущей способности - шины 18,4-26 (рис. 2).

Теоретические зависимости ширины колеи от порядкового номера опорной тележки на примере ДМ «КАСКАД», построенные в соответствии с выражением (1) представлены на (рис. 3). Ширина колеи для всех модификаций машин и колес уменьшается с увеличением расстояния от центральной опоры.

Рис. 3. Зависимость ширины колеи от порядкового номера опорной тележки (расстояние от основной опоры) для ДМ «КАСКАД» (несущая способность почвы 100 кПа): 1 – шины 18,4-24; 2 – шины 16-20; 3 – шины 15,5-38; 4 – шины 14,9-24

Рис. 4. Зависимость глубины колеи от несущей способности почвы для ДМ «КАСКАД» пролет 59,5 м (труба 159 мм) для первой опоры: 1 – шины 14,9-24; 2 – шины 16,9-24; 3 – шины 18,4-24; 4 – шины 23,1-26

Для уменьшения глубины колеи возможно применение колес более широкого профиля или снижение массы за счет уменьшения диаметра трубопровода, что целесообразно при работе с меньшими расходами [6, 7].

В таблице 1 приведены рекомендации по количеству колес, устанавливаемых на одной тележке ДМ. Данные рекомендации были определены на основе сравнения удельного давления колеса на почву с нормативным удельным давлением [8]. 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 на тележке необходимо устанавливать три колеса.

Природные условия			Характеристики машины КАСКАД с пневматическими колесами				Рассчитываемые параметры						
Тип почвы	Норма полива, м³/га	Достоковая норма, м³/га	Диаметр трубопровода, мм	Давление на почву, кН	Длина пролета, м	Шины	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	133	131.50	59.5	14.9 - 20	0.155	0.066	0.28	0.180	2	0.210	2
				132.72	65.25		0.157	0.067	0.28		2		2
	400		159	174.76	59.5	16 - 20	0.149	0.086	0.30	0.150	2	0.180	2
				179.11	65.25		0.153	0.088	0.30		3		2
	500		168	210.45	59.5	18 - 24	0.128	0.081	0.34	0.120	3	0.140	2
				217.86	65.25		0.132	0.084	0.34		3		2
	600		203	281.12	59.5	23 - 26	0.092	0.082	0.43	0.100	2	0.120	2
				294.33	65.25		0.096	0.086	0.43		2		2
Темно-каштановый суглинок	300	629	133	133.03	59.5	14.9 - 20	0.155	0.049	0.28	0.180	2	0.210	2
				132.72	65.25		0.157	0.049	0.28		2		2
	400		159	176.97	59.5	16 - 20	0.149	0.061	0.30	0.150	2	0.180	2
				179.11	65.25		0.153	0.062	0.30		3		2
	500		168	212.95	59.5	18 - 24	0.128	0.054	0.34	0.120	3	0.140	2
				217.86	65.25		0.132	0.056	0.34		3		2
	600		203	285.11	59.5	23 - 26	0.092	0.052	0.43	0.100	2	0.120	2
				294.33	65.25		0.096	0.054	0.43		2		2

Методика исследований.

Исследование колееобразования проводилось в начале, середине и конце поливного периода. Замеры глубины колеи проводились с помощью линейки (рис. 5). Эксперименты проводились на ДМ «Кубань-ЛК1М» (Каскад) и «КАСКАД» в Саратовской области, правобережье.

Рис. 5. Измерение колеи

Результаты исследований.

Результаты исследований глубины колеи от порядкового номера опорной тележки при несущей способности почвы 110-125 кПа после первого прохода для ДМ «Кубань-ЛК1М» длиной 497 показаны на (рис. 6).

Рис. 6. Зависимость глубины колеи от номера опорной тележки при несущей способности почвы 110-125 кПа: ДМ «Кубань-ЛК1М» (Каскад) (48,7 м пролет, шины 14,9-24), $H'' = -0.525n_{OT} + 5.9$; $R^2 = 0.976$

В конце поливного сезона вид зависимости глубины колеи от порядкового номера тележки меняется с линейной на квадратичную. На последних тележках колея снова возрастает за счет увеличения расхода и крупности капель (рис. 7).

Рис. 7. Зависимость глубины колеи от номера опорной тележки в конце поливного сезона: ДМ «Кубань-ЛК1М» (Каскад) (48,7 м пролет, шины 14,9-24),

$$H'' = 0.041n_{OT}^3 + 0.023n_{OT}^2 - 3.489n_{OT} + 19.8; R^2 = 0.967$$

При увеличении пролета до 59,5 м и установке колес с шинами 16,9-24, колея снижается до 4 см на первой тележке за первый проход и до 9 см в конце поливного сезона, несмотря на увеличение длины пролета (Рис.8).

Рис.8. Зависимость глубины колеи от номера опорной тележки при несущей способности почвы 110-125 кПа в начале (1) и конце (2) поливного сезона, ДМ «Кубань-ЛК1М» (Каскад) (59,5 м пролет, шины 16,9-24,; 1 – $H^* = 0.03n_{OT}^3 - 0.206n_{OT}^2 - 0.357n_{OT} + 8.871$; $R^2 = 0.935$; 2 – теоретическая зависимость

Анализ данных показывает, что на почвах повышенной прочности ДМ целесообразно оборудовать узкими пневмоколесами. На почвах с низкой несущей способностью и значительными поливными нормами от 600 м³/га – более широкопрофильными пневматическими шинами 18-24; 23-26, 21.3-24 для ДМ «Кубань-ЛК1», «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД), «КАСКАД» с шириной профиля 0,30-0,54 м, в том числе установкой более широкопрофильных шин в концевой части машин.

Кроме того, в условиях пониженной прочности почв возможно применение на ДМ шин с меньшими значениями ширины профиля, нежели рекомендуемые, но для уменьшенных величин длин пролетов ДМ или уменьшенного диаметра водопроводящего трубопровода.

Заключение. Теоретически определили, что если на ДМ применить шину 18-24, или шину 16-20 (с пролетом длины 65.25 м) то них должны устанавливать 3 колеса для удовлетворения нормативного удельного давления.

Проведенные исследования позволили определить ориентировочные зоны применения колесных систем в зависимости от несущей способности почвы:

1. повышенной несущей способности при норме полива до 300 м³/га возможно применение узкопрофильных пневматических колес. Глубина колеи – не более 0,08-0,1 м.
2. средней несущей способности при норме полива 300-500 м³/га – обычные шины. Глубина колеи – 0,05-0,1 м.
3. низкой несущей способности при норме полива более 500 м³/га – широкопрофильные шины. Глубина колеи - 0,1-0,15 м.

Полученные экспериментальные данные хорошо сочетаются с показателями теоретических расчетов.

1. Рязанцев, А.И. Технологические особенности полива дождевальной машиной «Фрегат» культурных пастбищ / А.И. Рязанцев, Н.Я. Кириленко, А.В. Шереметьев // Техника и технологии агропромышленного комплекса. Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. – 2012. – №5. – С.27-30.
2. Рязанцев, А.И. Техничко-эксплуатационные особенности многоопорной электрифицированной дождевальной машины нового поколения «Кубань-ЛК1» / А.И. Рязанцев, А.О. Антипов / Вестник

-
- Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2016. – № 2. – С. 83-87.
3. Рыжко, Н.Ф. Обоснование ресурсосберегающего дождевания / Н.Ф. Рыжко // Вестник Саратовского Госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. - 2014. – № 7. – С. 40–45.
 4. Слюсаренко, В.В. Технические решения для повышения площади полива и коэффициента земельного использования дождевальных машин кругового действия / В.В. Слюсаренко, Г. П. Надежкина, Н.Ф. Рыжко // Научная жизнь. -2014. –№ 2. С. 100-109.
 5. Михалев Н. В. Обоснование технологических и технических решений по распределению стоков дождевальными машинами кругового действия: Дис. ... канд. техн. наук. – М., 2000. – 155 с.
 6. Абдразаков, Ф.К. Рациональное снижение металлоемкости при конструировании широкозахватных дождевальных машин / Ф.К. Абдразаков, Л.А. Журавлева, В.А. Соловьев //Аграрный научный журнал. – 2018. –№5.–С. 37-42.
 7. Abdrazakov, F.K.The studies of water flow characteristics in the water conducting belt of wide-coverage sprinkling machines / F.K.Abdrazakov, D.A. Soloviev, A. L. Zhuravleva [и др.] // The Turkish Online Journal of Design, Art and Communication – TOJDAC ISSN: 2146-5193. Special Edition, March 2018. - P. 567-577.
 8. Нормативные напряжения на почву [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/gost-26955-86> – (Дата обращения: 07.03.2021).
-