

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ИЗМЕНЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПЕРЕДВИЖЕНИЮ КОЛЕС И ГЛУБИНУ КОЛЕИ ШИРОКОЗАХВАТНЫХ ДОЖДЕВАЛЬНЫХ МАШИН

FACTORS AFFECTING THE CHANGE IN WHEEL RESISTANCE AND TRACK DEPTH OF WIDE-GRIP SPRINKLER MACHINES

Л.А. ЖУРАВЛЕВА, д.т.н.
Н.В. ТХУАН

Московский политехнический университет, Москва,
Россия, nguyenthuan230593@gmail.com

L.A. ZHURAVLEVA, DSc in Engineering
N.V. TKHUAN

Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia,
nguyenthuan230593@gmail.com

Процесс работы дождевальных машин сопровождается образованием колеи ходовыми тележками, приводящей к возрастанию сопротивления передвижению колес и ко многим негативным последствиям: переполиву орошаемых площадей, повышению затраченной энергии на передвижение, повышению уплотнения почвы и т.п. Глубина колеи и сопротивление передвижению колес зависят от многих параметров: влажности почвы, режима полива, несущей способности почвы, геометрических параметров колеса и т.д. Но наиболее влияние оказывают нагрузка, приходящаяся на ось колеса, и давление воздуха в шинах.

Представлены результаты лабораторных исследований установок, имитирующих ходовые тележки дождевальных машин, которые показали, что при поддержании постоянного давления воздуха в шинах повышение нагрузки на ось пневматического колеса с 0,1 до 1,0 кН приводит к увеличению глубины колеи до 4 см, а также линейному росту сопротивления передвижению колеса. С увеличением давления, создаваемого пневматическим колесом, увеличивается остаточная деформация, глубина колеи и, следовательно, возрастает сопротивление передвижению пневматического колеса. Глубина колеи повышается на 20 % при повышении давления воздуха в шинах с 0,5 до 1,0 МПа. При постоянной нагрузке, приходящейся на ось колеса, сопротивление передвижению пневматического колеса возрастает в среднем 25 % при повышении давления воздуха в шинах с 0,5 до 1,6 МПа.

Оптимизация ходовых систем, соотношения нагрузки, приходящейся на ось колеса, геометрических параметров и характеристик, а также давления воздуха в шинах является актуальной задачей.

Ключевые слова: нагрузка, давление воздуха, сопротивление, колесо, колея, дождевальная машина.

Для цитирования: Журавлева Л.А., Тхуан Н.В. Факторы, влияющие на изменение сопротивления передвижению колес и глубину колеи широкозахватных дождевальных машин // Тракторы и сельхозмашины. 2020. № 6. С. 67–71. DOI: 10.31992/0321-4443-2020-6-67-71.

The operation of sprinkler machines is accompanied by the formation of a track with undercarriages, leading to an increase in resistance to wheel movement and leading to many negative consequences: over-watering of irrigated areas, an increase in energy expended on movement, an increase in soil compaction, etc. The depth of the track and the resistance to wheel movement depend on many parameters: soil moisture, irrigation mode, soil bearing capacity, wheel geometry, etc. But the greatest influence is exerted by the load on the wheel axle and the air pressure in the tires.

The article presents the results of laboratory studies of installations that simulate the undercarriage of sprinkler machines, which showed that while maintaining a constant air pressure in the tires, an increase in the axle load of the pneumatic wheel from 0,1 to 1.0 kN leads to an increase in the track depth to 4 cm, and also a linear increase in the resistance to wheel movement. With an increase in the pressure generated by the pneumatic wheel, the permanent deformation, the depth of the track, and, consequently, the resistance to movement of the pneumatic wheel increases. The track depth increases by 20 % with an increase in tire pressure from 0,5 to 1,0 MPa. With a constant load on the axle of the wheel, the resistance to movement of the pneumatic wheel increases on average by 25 % when the air pressure in the tires rises from 0,5 to 1,6 MPa.

Optimization of running systems, the ratio of the load on the axle of the wheel, geometrical parameters and characteristics, as well as the air pressure in the tires is an urgent task.

Keywords: load, air pressure, resistance, wheel, track, sprinkler.

Cite as: L.A. Zhuravleva, N.V. Tkhuuan Factors affecting the change in wheel resistance and track depth of wide-grip sprinkler machines. Traktory i sel'khoz mashiny. 2020. No 6, pp. 67–71 (in Russ.). DOI: 10.31992/0321-4443-2020-6-67-71.

Введение

В процессе взаимодействия движителей двигателей машин (ДМ) с почвой образуется колея, во многом определяющая сопротивление передвижения колес, влияя на движение ДМ и качество процесса полива.

Основными факторами, от которых зависит сопротивление передвижению колес и глубина колеи широкозахватных ДМ, являются влажность почвы, несущая способность, нагрузка, приходящаяся на ось колеса и давление воздуха в шинах.

Как показывает практика, для уменьшения глубины колеи и сопротивления передвижению колеса необходимо уменьшить нагрузку, приходящуюся на ось колеса, и давление воздуха в шинах [1–6]. Минимальное значение нагрузки, приходящейся на ось колеса, составляет 0,01 кН, а минимальное значение давления воздуха в шинах – 0,05 МПа.

Цель исследований

Выявление влияния нагрузки на колесо и давления воздуха в шинах на изменение сопротивления передвижению колес и глубину колеи широкозахватных ДМ.

Материалы и методы

Теоретические исследования

Возможность движения ДМ определяется известным критерием проходимости [7, 8]:

$$P = (\varphi_c - f)N \geq i, \quad (1)$$

где φ_c – коэффициент сцепления; f – коэффициент сопротивления качению; N – число тележек ДМ; i – величина уклона.

При качении колеса по сминаемой почве передаваемый крутящий момент $M_{кр}$ определяется зависимостью (рис. 1):

$$M_{кр} = \tau_{сп} k'_\tau. \quad (2)$$

А наибольшая сила сцепления $P_{сц}$ ведущего колеса с почвой:

$$P_{сц} r_k = \tau_{сп} k'_\tau, \quad (3)$$

где r_k – радиус колеса; $\tau_{сп}$ – удельное сопротивление срезу почвозацепами колеса; k'_τ – момент сопротивления (статический момент поверхности среза).

Из равенства (3) можно определить максимальную силу сцепления:

$$P_{сц} = \tau_{сп} k'_\tau / r_k. \quad (4)$$

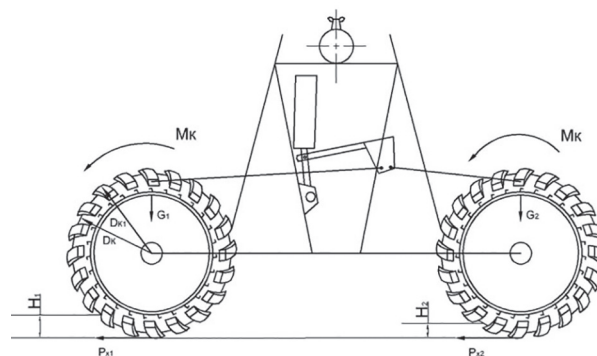


Рис. 1. Схема качения колесных систем ДМ

Fig. 1. Rolling scheme of wheel systems of SM

Удельное сопротивление срезу согласно уравнению Кулона имеет вид:

$$\tau_{сп} = q_{уд} \cdot \operatorname{tg} \varphi + C_2, \quad (5)$$

где $q_{уд}$ – удельное давление колеса на почву; $\operatorname{tg} \varphi$ – угол внутреннего трения.

Согласно исследованиям А.И. Рязанцева, в условиях испытания почв на вращательный срез с помощью крыльчатых наконечников собственным весом почвы в пределах глубины погружения можно пренебречь. То есть удельное сопротивление вращательному срезу, определяемому также выражением (5), с достаточной точностью может быть отождествлено со сцеплением почвы, которое определяется по вращательному моменту и константе крыльчатого наконечника k_τ .

$$C_2 = M_{\max} / k_\tau. \quad (6)$$

При погружении конического наконечника теоретически доказано наличие пропорциональности между сцеплением грунта и величиной удельного сопротивления пенетрации:

$$R_n = P / h_k^2, \quad (7)$$

$$C_2 = k_\varphi R_n, \quad (8)$$

где k_φ – функция пропорциональности, зависящая от угла при вершине конического наконечника и угла внутреннего трения.

Срез почвы при движении колеса происходит ее боковыми кромками и затылочной частью почвозацепов. Статический момент поверхности среза определяется следующим выражением:

$$k'_\tau = \frac{\sqrt{D_k H^n}}{D_k} \cdot \frac{D_{к1}^2 - D_k^2}{2} \cdot \frac{D_{к1} - D_k}{3} + b_n, \quad (9)$$

где D_K – диаметр колеса; H'' – глубина колеи; D_{K1} – диаметр окружности по вершинам почвозацепов; b_n – ширина почвозацепа.

Как видно из формулы, площадь поверхности среза зависит от глубины колеи и размеров почвозацепов.

Применительно к ходовой системе двухколесных тележек ДМ, когда заднее колесо движется по следу переднего, $P_{сц}$ с учетом формулы (4) определяется по формуле:

$$P_{сц} = \frac{\sqrt{D_K}}{3D_K^2} \cdot (\tau_{ср1}\sqrt{H_1''} + \tau_{ср2}\sqrt{H_2''}) \times (D_{K1}^2 - D_K^2) \cdot (D_{K1} - D_K + 3b_n), \quad (10)$$

где $\tau_{ср1}$, $\tau_{ср2}$ – соответственно удельные сопротивления почвы срезу до и после прохода переднего колеса; H_1'' , H_2'' – соответственно глубина колеи после прохода переднего и заднего колеса.

С целью уменьшения нагрузки, приходящейся на оси колес, было решено использовать трехколесную ходовую систему, в которой три колеса располагаются друг за другом, – так называемая тандемная схема расстановки (рис. 2).

Сила сцепления такой ходовой системы определяется следующей формулой:

$$P_{сц} = \frac{\sqrt{D_K}}{3D_K^2} \cdot (\tau_{ср1}\sqrt{H_1''} + \tau_{ср2}\sqrt{H_2''} + \tau_{ср3}\sqrt{H_3''}) \times (D_{K1}^2 - D_K^2) \cdot (D_{K1} - D_K + 3b_n), \quad (12)$$

где $\tau_{ср3}$ – удельное сопротивление почвы срезу после прохода второго колеса; H_3'' – глубина колеи после прохода третьего колеса.

Сопротивление качению P_f с учетом известных положений [7] определяется по выражению для двухколесной тележки:

$$P_f = 0,88 \sqrt{\frac{G_K^3}{BD_K^3}} \cdot \frac{\sqrt{P_{дпп1}} + \sqrt{P_{дпп2}}}{\sqrt{P_{дпп1}P_{дпп2}}}, \quad (13)$$

где G_K – нагрузка на колесо; B – ширина профиля колеса; $P_{дпп1}$, $P_{дпп2}$ – несущая способность почвы до и после прохода переднего колеса.

Методика исследований

Для достижения поставленной цели исследования – выявить влияние нагрузки, приходящейся на оси колеса, и давления воздуха в шинах на сопротивление передвижению колес

и глубину оставленной колеи были проведены лабораторные эксперименты – (рис. 2, 3).

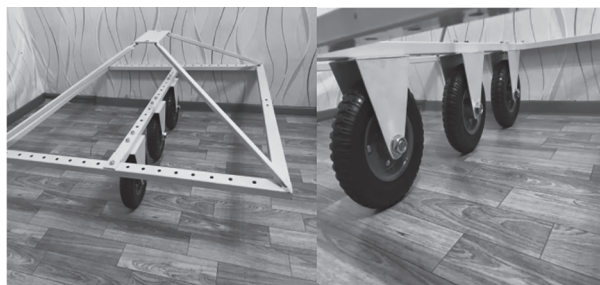


Рис. 2. Тележки, используемые в экспериментах
Fig. 2. Undercarriages used in experiments



Рис. 3. Лабораторное оборудование для проведения экспериментов
Fig. 3. Laboratory equipment for conducting experiments

Для определения сил, которые действуют со стороны грунта на колеса в трех плоскостях использовался тензометрический измерительный комплекс МІС-018 с программными продуктами Recorder для регистрации сил и WinПІОС для обработки полученного сигнала.

Для имитации ходовой тележки ДМ была разработана конструкция, представленная на рис. 3, позволяющая крепить к ней пневматические и жесткие шины с разными диаметрами.

В процессе проведения лабораторных экспериментов определялись: давление в пятне контакта колеса с почвой, плотность и твердость почвы, макроагрегатный состав. После каждого прохода ходовой тележки определялись параметры колеи. Нагружение производилось с учетом коэффициента перерасчета 8,8.

Результаты и обсуждение

Из полученных результатов экспериментальных исследований можно видеть,

что при поддержании постоянного давления воздуха в шинах повышение нагрузки на ось пневматического колеса с 0,1 до 1,0 кН приводит к увеличению глубины колеи до 4 см, а также линейному росту сопротивления передвижению колеса (рис. 4).

Сопротивление передвижению пневматического колеса достигает максимального значения – 0,07 кН. Глубина колеи после каждого прохода увеличивается по линейному закону.

Глубина колеи повышается на 20 % при повышении давления воздуха в шинах с 0,5 до 1,0 МПа (рис. 5). При дальнейшем повышении давления с 1,0 до 1,6 МПа глубина колеи резко возрастает, достигая максимального значения 30 %.

С увеличением давления, создаваемого пневматическим колесом, увеличивается остаточная деформация, глубина колеи и, следовательно, возрастает сопротивление передвижению пневматического колеса.

Аналогичная тенденция была зафиксирована в процессе исследования влияния давления воздуха в шинах на сопротивление передвижению колес. Сопротивление передвижению пневматического колеса возрастает в среднем на 25 % при повышении давления воздуха в шинах с 0,5 до 1,6 МПа, и при давлении

в шинах, равном 1,6 МПа, сопротивление достигает максимального значения.

Подобные процессы объясняется тем, что в пятне контакта пневматического колеса с почвой при повышении нагрузки на колесе контактные нормальные давления возрастают. Почва продолжает деформироваться до тех пор, пока величина нормальных давлений больше сопротивления сжатию почвы.

При снижении давления воздуха в шинах колес возрастает площадь контакта пневматических колес с почвой, вследствие чего уменьшается глубина колеи.

Заключение

Глубина колеи и сопротивление передвижению колес во многом определяют устойчивость и энергоемкость процесса передвижения дождевальных машин, соблюдение технологий и режима, а соответственно и качество полива.

Проведенные исследования позволили выявить влияние нагрузки, приходящейся на ось ходовых систем дождевальных машины, и давления воздуха в шинах. От правильного, оптимального выбора параметров ходовых систем зависит эффективность работы машин в целом, и весьма актуальным являются дальнейшие исследования и разработки в этом направлении.

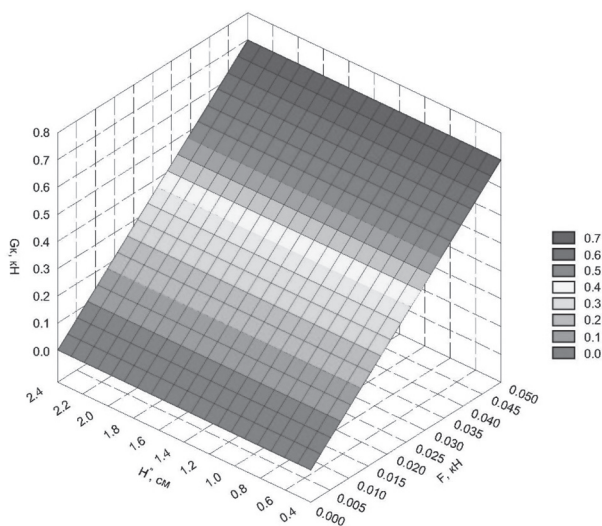


Рис. 4. Влияние нагрузки на оси пневматического колеса на изменение глубины колеи и сопротивление передвижению колес при постоянном давлении воздуха в шине 1,0 МПа

Fig. 4. Influence of the load on the axles of a pneumatic wheel on the change in the depth of the track and resistance to wheel movement at a constant air pressure in the tire of 1,0 MPa

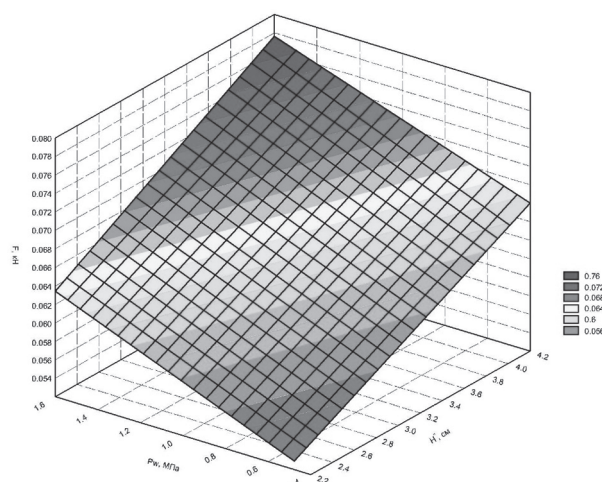


Рис. 5. Влияние давления воздуха в шине на изменение сопротивления передвижению колес и глубину колеи при постоянной нагрузке на оси колеса, равной 0,6 кН

Fig. 5. Influence of air pressure in the tire on the change in the resistance to movement of the wheels and the depth of the track at a constant load on the wheel axles equal to 0,6 kN

Литература

1. Русинов А.В. Лабораторные исследования машин природообустройства и защиты в чрезвычайных ситуациях // Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях. Материалы VII Межд. науч.-практ. конф. СГАУ Вавилова Н.И. Саратов. 202.
2. Русинов А.В. Снижение эрозионных процессов орошаемых почв путем минимизации воздействия машинно-тракторных агрегатов и дождевальных машин // Техногенная и природная безопасность. Сб. науч. тр. V межд. науч.-практ. конф. СГТУ им Гагарина.
3. Mohsenimanesh A., Ward S., Owende P. Modelling of pneumatic tractor tyre interaction with multi-layered soil // Biosystems Engineering. October, 2009. 104(2): P. 191–198.
4. Mamiti G.I. New Equations of Motion of Vehicles // Russian Engineering Research. 2015. Vol. 35. No. 7. P. 493–495.
5. Ksinevich I.P., Skotnikov V.A., Lyasko M.I. Operating system soil-harvest. M.: Agropromizdat, 1985. 304 p.
6. Gapich D.S., Nesmiyanov I.A., Shiryayeva E.V. Theoretical estimation of traction-coupling characteristics of wheeled tractors // Tractors and agricultural machinery. 2012. No. 7. P. 19–22.
7. Рязанцев А.И. Механико-технологическое обоснование, создание и внедрение многоопорных дождевальных машин с поливом в движении по кругу для сложных почвенно-рельефных условий: дис. ... докт. техн. наук. Рязань, 1994. 253 с.
8. Гусейн-Заде С.Х., Перевезенцев Л.А. и др. Многоопорные дождевальные машины. М.: Колос, 1984. 191 с.
9. va N.I. [Innovations in environmental management and protection in emergency situations. Materials of the VII Int. scientific-practical conf. of Saratov State Vavilov Agrarian University]. Saratov. 202 (In Russ.).
10. Rusinov A.V. Reduction of erosion processes in irrigated soils by minimizing the impact of machine-tractor units and sprinklers. Tekhnogennaya i prirodnyaya bezopasnost'. Sb. nauch. tr. V mezhd. nauch.-prakt. konf. SGTU im Gagarina, [Technogenic and natural safety. Collection of scientific and practical conference of Yuri Gagarin State Technical University of Saratov] (In Russ.).
11. Mohsenimanesh A., Ward S., Owende P. Modelling of pneumatic tractor tyre interaction with multi-layered soil // Biosystems Engineering. October, 2009. 104 (2): P. 191–198.
12. Mamiti G.I. New Equations of Motion of Vehicles // Russian Engineering Research. 2015. Vol. 35. No. 7. P. 493–495.
13. Ksinevich I.P., Skotnikov V.A., Lyasko M.I. Operating system soil-harvest. Moscow: Agropromizdat Publ., 1985. 304 p.
14. Gapich D.S., Nesmiyanov I.A., Shiryayeva E.V. Theoretical estimation of traction-coupling characteristics of wheeled tractors // Tractors and agricultural machinery. 2012. No. 7. P. 19–22.
15. Ryazantsev A.I. Mekhaniko-tekhnologicheskoye obosnovaniye, sozdaniye i vnedreniye mnogoopornykh dozhdeval'nykh mashin s polivom v dvizhenii po krugu dlya slozhnykh pochvenno-rel'yefnykh usloviy: dis. ... d-ra tekhn. nauk [Mechanical and technological substantiation, creation and implementation of multi-support sprinkler machines with irrigation in motion in a circle for difficult soil and relief conditions: Dissertation for Degree of DSc in Engineering]. Ryazan', 1994. 253 p.
16. Guseyn-Zade S.KH., Perevezentsev L.A. i dr. Mno-goopornyye dozhdeval'nyye mashiny [Multi-support sprinkler machines]. Moscow: Kolos Publ., 1984. 191 p.

References

1. Rusinov A.V. Laboratory research of machines for environmental engineering and protection in emergency situations. Innovatsii v prirodoobustroytve i zashchite v chrezvychaynykh situatsiyakh. Materialy VII Mezhd. nauch.-prakt. konf. SGAU Vavilova N.I. Saratov. 202.
2. Rusinov A.V. Reduction of erosion processes in irrigated soils by minimizing the impact of machine-tractor units and sprinklers. Tekhnogennaya i prirodnyaya bezopasnost'. Sb. nauch. tr. V mezhd. nauch.-prakt. konf. SGTU im Gagarina, [Technogenic and natural safety. Collection of scientific and practical conference of Yuri Gagarin State Technical University of Saratov] (In Russ.).
3. Mohsenimanesh A., Ward S., Owende P. Modelling of pneumatic tractor tyre interaction with multi-layered soil // Biosystems Engineering. October, 2009. 104 (2): P. 191–198.
4. Mamiti G.I. New Equations of Motion of Vehicles // Russian Engineering Research. 2015. Vol. 35. No. 7. P. 493–495.
5. Ksinevich I.P., Skotnikov V.A., Lyasko M.I. Operating system soil-harvest. Moscow: Agropromizdat Publ., 1985. 304 p.
6. Gapich D.S., Nesmiyanov I.A., Shiryayeva E.V. Theoretical estimation of traction-coupling characteristics of wheeled tractors // Tractors and agricultural machinery. 2012. No. 7. P. 19–22.
7. Ryazantsev A.I. Mekhaniko-tekhnologicheskoye obosnovaniye, sozdaniye i vnedreniye mnogoopornykh dozhdeval'nykh mashin s polivom v dvizhenii po krugu dlya slozhnykh pochvenno-rel'yefnykh usloviy: dis. ... d-ra tekhn. nauk [Mechanical and technological substantiation, creation and implementation of multi-support sprinkler machines with irrigation in motion in a circle for difficult soil and relief conditions: Dissertation for Degree of DSc in Engineering]. Ryazan', 1994. 253 p.
8. Guseyn-Zade S.KH., Perevezentsev L.A. i dr. Mno-goopornyye dozhdeval'nyye mashiny [Multi-support sprinkler machines]. Moscow: Kolos Publ., 1984. 191 p.