

СНИЖЕНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ХОДОВЫХ СИСТЕМ ДОЖДЕВАЛЬНЫХ МАШИН НА ПОЧВУ

ЖУРАВЛЕВА Лариса Анатольевна, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

Проведенные исследования позволили установить оптимальные схемы расположения дождевателей для дождевальных машин «Кубань-ЛК1М» (Каскад) и «КАСКАД» в соответствии с применяемыми ходовыми системами и параметрами водопроводящего трубопровода, несущей способностью почвы и нормой полива.

82

АГРАРНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

5
2020

Введение. Движение многоопорных дождевальных машин (ДМ) осуществляется посредством взаимодействия движителей опорных тележек с почвой, которая является одновременно объектом увлажнения и несущим основанием.

Основными показателями физических свойств почвы, определяющими ее несущую способность, а соответственно, опорные и тягово-цепные свойства машин, является гранулометрический состав, удельный и объемный вес, водопроницаемость и влажность.

Причем из всех показателей наибольшее влияние на механические характеристики почвы имеет влажность. Особенно выражен этот процесс при работе ДМ с большими поливными нормами, когда почва на глубине 0,2–0,3 м увлажняется до предела текучести и при взаимодействии колес с почвой происходит не уплотнение, а пластическое течение ее под колеса и выпирание в стороны.

В процессе полива при движении дождевальных машин по полю колесами ходовых опор создается колея. Интенсивность процесса колеообразования и снижения сцепных свойств ходовых систем ДМ еще в большей степени увеличивается при наличии в зоне движения ходовых тележек свободной, не впитавшейся воды, вызывающей образование стока по колее.

Наиболее сложные условия для работы широкозахватных дождевальных машин кругового действия создаются на пересеченном рельфе, в низинах, на глинистых малопроницаемых почвах, когда вода практически не впитывается и не стекает по поверхности, длительное время застаиваясь на поверхности. Такое же явление наблюдается и на песчаных почвах, залегающих на глинистых породах. Эффективность применения широкозахватных ДМ из-за значительного колеообразования отдельных

опорных тележек значительно снижается даже на орошаемых полях при работе с малыми нормами полива [1].

Как показывает опыт эксплуатации широкозахватных дождевальных машин кругового действия, глубина колеи имеет несколько большее значение в начале и в конце машины из-за увеличенного слоя осадков (расхода) и повышенной интенсивности дождя (образование стоков) [6–9].

Целью исследования является рассмотрение влияния процесса полива на несущие свойства почвы, процесса колеообразования и возможностей его снижения для дождевальных машин кругового действия.

Методика исследований. При качении колес ДМ имеют место два основных вида деформации почвы: сжатие почвы опорной поверхностью и срез почвы зацепами колеса.

В своих исследованиях А.И. Рязанцев предлагает смоделировать данные процессы как взаимодействие с почвой конусно-крыльчатых наконечников пенетрирующих устройств. При этом сопротивление грунта сжатию может определяться зависимостью, кПа [7]:

$$\sigma_{\text{сж}} = u_T \gamma_{\text{тр}} r_{\text{кп}} + N_T c_{2\Gamma} \quad (1)$$

где u_T , N_T – безразмерные коэффициенты несущей способности грунта, зависящие от угла внутреннего трения; $\gamma_{\text{тр}}$ – объемный вес грунта, кН/м³; $r_{\text{кп}}$ – радиус основания наконечника, м; $c_{2\Gamma}$ – удельное сцепление грунта, кПа.

В условиях испытаний грунтов непосредственно в поверхностном слое собственным весом грунта в пределах глубины погружения наконечника можно пренебречь. Поэтому касательную составляющую напряжения или другими словами удельное сопротивление почвы врачающему срезу в этих условиях с достаточной достоверностью можно отождествлять со сцеплением грунта: $\tau_{\Gamma} = c_{2\Gamma}$.

Несущую способность почвы определяли согласно зависимости, кПа [7]:

$$P_{\text{дп}} = 0,318 N'_K c_{2\Gamma} \quad (2)$$

где N'_K – коэффициент, зависящий от величины угла внутреннего трения грунта.

Несущую способность почв после полива можно описать выражением:

$$P_{\text{пп}} = P_{\text{дп}} - \Delta P, \quad (3)$$

где $P_{\text{дп}}$ – несущая способность почвы до полива; ΔP – величина уменьшения несущей способности почвы.

На изменение прочностных показателей почвы при поливе существенное влияние оказывают ее инфильтрационные свойства и режим орошения, определяемый природно-климатическими условиями и конструктивными особенностями дождевальных машин.

Согласно исследованиям А.И. Рязанцева [8], несущую способность почвы можно определить, кПа:

$$P_{\text{пп}} = P_{\text{дп}} - (1,4m_{\text{дост}}^{0,65} + 8 \cdot 1,01^{m_{\text{ст}}}). \quad (4)$$

Как показали исследования оценки изменения несущей способности почвы от эффективных норм полива, для наиболее часто встречающихся типов почв величина уменьшения несущей способности почвы резко возрастает при увеличении значений дистоковой нормы и еще в большей степени уменьшается при возрастании величины поверхностного стока.

Так, например, увеличение поливной нормы с 300 до 500 м³/га для среднесуглинистых черноземов вызывает уменьшение их несущих свойств с 160 до 140 кПа, а при наличии стока (20–25 %) до 125 кПа [7].

В процессе полива при движении круговых машин по полю колесами ходовых опор создается колея.

Ширина образующейся колеи B_K зависит от диаметра опорных колес D_K , ширины обода b_K , глубины погружения колеса в грунт H'' , расстояния от неподвижной опоры R_{iM} и может быть записана в виде

$$B_K = \sqrt{\left(R_{iM} + \frac{b_K}{2}\right)^2 + H''(D_K - H'')} - \left(R_{iM} + \frac{b_K}{2}\right), \quad (5)$$

Глубина колеи может быть выражена следующей зависимостью:

$$H'' = \frac{1,2Q_K}{P_{\text{пп}} b_K \sqrt{D_K}}. \quad (6)$$

Тогда с учетом несущей способности почвы можно выразить:

$$H'' = \frac{1,2Q_K}{[P_{\text{дп}} - (1,4m_{\text{дост}}^{0,65} + 8 \cdot 1,01^{m_{\text{ст}}})] b_K \sqrt{D_K}}, \quad (7)$$

$$B_K = \left\{ \left(R_{iM} + \frac{b_K}{2} \right)^2 + \frac{1,2Q_K}{[P_{\text{дп}} - (1,4m_{\text{дост}}^{0,65} + 8 \cdot 1,01^{m_{\text{ст}}})] b_K \sqrt{D_K}} \times \right. \right. \\ \left. \times \left(D_K - \frac{1,2Q_K}{[P_{\text{дп}} - (1,4m_{\text{дост}}^{0,65} + 8 \cdot 1,01^{m_{\text{ст}}})] b_K \sqrt{D_K}} \right) \right\}^{0,5} - \\ - \left(R_{iM} - \frac{b_K}{2} \right). \quad (8)$$

Дистоковая поливная норма, м³/га:

$$m_{\text{дост}} = 2850 \left(1,14 - \sqrt[d_K]{d_K} \right) \frac{\rho_{\text{ср}}}{\rho_1} K, \quad (9)$$

где Q_K – нагрузка на колесо, кН; $P_{\text{дп}}$ – несущая способность почвы, МПа; $m_{\text{ст}}$ – величина стока, м³/га; d_K – средний диаметр капель, мм; $\rho_{\text{ср}}$ – интенсивность дождя, мм/мин; ρ_1 – заданная интенсивность дождя, мм/мин; K – коэффициент, учитывающий водопроницаемость почв ($K = 0,6–1,5$).

Установлено, что при поливе водой для обеспечения допустимого в конце поливного сезона максимального значения глубины колеи ($H'' = 15$ см) ее величина после первого прохода не должна превышать 5±1 см. Эта глубина колеи обеспечивается при давлении колес машина почву не более 100 кПа. Давление 80...100 кПа рекомендуется и для сельскохозяйственных тракторов.

Теоретические зависимости глубины колеи от несущей способности почвы при различной длине пролетов на примере ДМ «Кубань-ЛК1» (КАСКАД) и ДМ «КАСКАД», построенные в соответствии с выражением (7), представлены на рис. 1, 2.

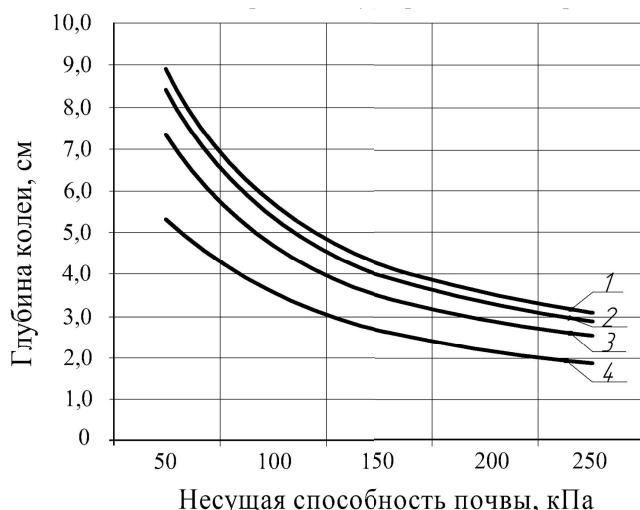


Рис. 1. Зависимость глубины колеи от несущей способности почвы для ДМ «Кубань-ЛК1» (КАСКАД) (шины 14,9–24) (труба 159 мм) для первой опоры:
1 – пролет 65 м; 2 – пролет 59,5 м; 3 – пролет 48,7 м; 4 – пролет 30 м



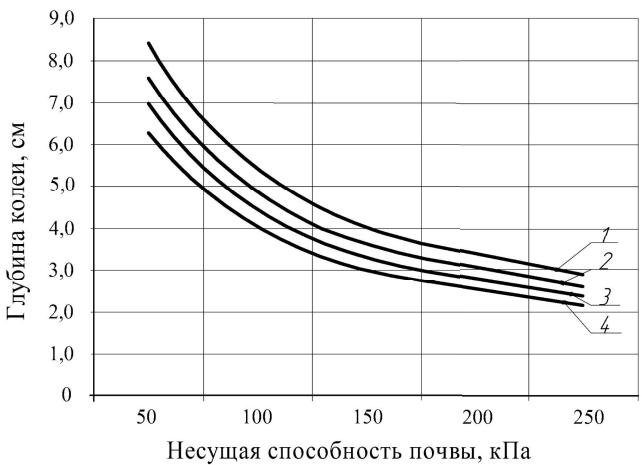


Рис. 2. Зависимость глубины колеи от несущей способности почвы для ДМ «КАСКАД» пролет 59,5 м (труба 159 мм) для первой опоры:
1 – шины 14,9-24; 2 – шины 16,9-24; 3 – шины 18,4-24; 4 – шины 23,1-26

Рассматривая зависимость величины колеи от несущей способности почвы при различной длине пролетов на примере ДМ «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 сшинами не менее 16,9-24, а при уменьшении несущей способности – шины 18,4-26 (см. рис. 2).

Теоретические зависимости ширины колеи от порядкового номера опорной тележки на примере ДМ «КАСКАД», построенные в соответствии с выражением (8), представлены на рис. 3. Ширина колеи для всех модификаций машин и колес уменьшается с увеличением расстояния от центральной опоры.

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 [5, 11].

Полевые исследования проводились на полях УНПО «Поволжье» ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ (с. Степное Энгельсского района Саратовской области), УНПК АгроСентра СГАУ; ООО «Наше дело» (Саратовская область, Марксовский район). Расчет водопроводящего пояса машины, подбор и расстановка дождевателей осуществляли при помощи математической модели [2, 3, 12]. Обработку результатов проводили методами математической статистики при помощи ЭВМ с использованием стандартных программ Microsoft Excel, Statistica. Дождевальные машины: «Кубань-ЛК1М» (Каскад) и ДМ «КАСКАД», рис. 4.

Для снижения интенсивности полива, уменьшения диаметра капель дождя в конце трубопровода и воздействия дождя их на почву машины были оснащены по следующим схемам расстановки дождевателей (рис. 5).

1. Установка через 3,5 м при давлении на входе в машину 0,3 МПа ДМ «КАСКАД» модели 497-90 дождевателей с гладкими дефлекторами до 1/2 водопроводящего пояса и с вращающимся дефлектором с 1/2 водопроводящего пояса. Дождеватели с вращающимися дефлекторами за счет большего радиуса полива обеспечивают меньшую интенсивность дождя, меньший диаметр капель, уменьшая воздействие на почву и снижая поверхностный сток в конце трубопровода машины, рис.5.

2. Установка через 4,5 м при давлении на входе в машину 0,35 МПа ДМ «КАСКАД» длиной 434 м дождевателей, имеющих дефлекторы с канавками до 2/3 длины водопроводящего трубопровода и дождевателей двумя дефлекторами с 2/3 водопроводящего трубопровода.

При помощи каскадных (двойных) дефлекторов можно распределять значительные расходы воды в нормативных границах интенсивности, обеспечивая мягкий режим орошения.

Конструкция с двумя дефлекторами снижает интенсивность орошения на 10–15 % по сравнению с конструкцией с одним дефлектором при одинаковом расходе воды [4, 10].

Интенсивное уменьшение давления колес машин на почву при средних нагрузках (10...20 кН), присущих для практически применяемых длин и диаметров труб пролетов дождевальных машин «Кубань-ЛК1», «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД), ДМ «КАСКАД», происходит при увеличении опорной поверхности колес до 0,30-0,50 м². Дальнейшее увеличение площади колесных движителей не имеет практического смысла, так как это влечет за собой значительное увеличение габаритов колес или их количества. С увеличением нагрузки растет и значение предела опорной поверхности.

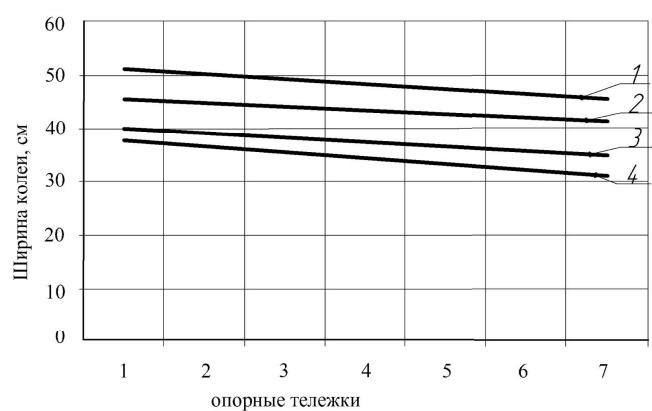
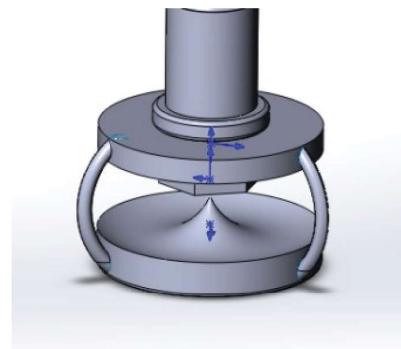


Рис. 3. Зависимость ширины колеи от порядкового номера опорной тележки (расстояние от основной опоры) для ДМ «КАСКАД» (несущая способность почвы 100 кПа):
1 – шины 18,4-24; 2 – шины 16-20;
3 – шины 15,5-38; 4 – шины 14,9-24

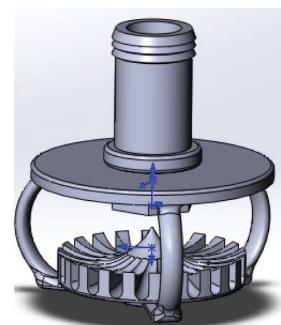




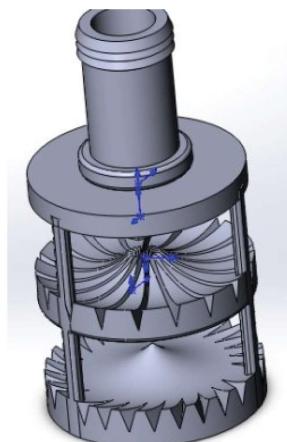
Рис. 4. Дождевальная машина «КАСКАД»



Гладкий дефлектор



Вращающийся дефлектор



С двумя дефлекторами

Рис. 5. Исполнение дождевателей



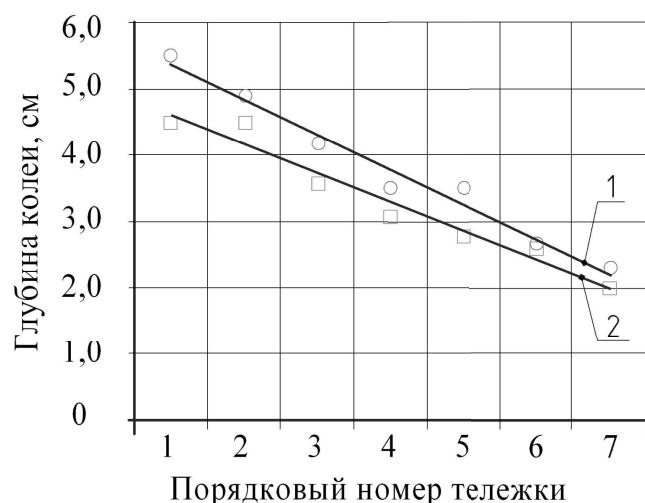


Рис. 6. Зависимость глубины колеи от номера опорной тележки при несущей способности почвы 110...125 кПа: 1 – ДМ «Кубань-ЛК1М» (48,7 м пролет, шины 14,9-24, схема расстановки 6), $H'' = -0,525n_{\text{от}} + 5,9; R^2 = 0,976$; 2 – ДМ «Кубань-ЛК1М» (48,7 м пролет, шины 14,9-24, схема расстановки 1), $H'' = -0,432n_{\text{от}} + 5,028; R^2 = 0,961$

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. При этом при установке дождевателей по схеме 1 возрастание колеи происходит в меньшей степени за счет снижения интенсивности, увеличения радиуса распыла и уменьшения диаметра капель (рис. 7).

При увеличении пролета до 59,5 м и установке колес с шинами 16,9-24, а также дождевателей по схеме 2 колея снижается до 4 см на первой тележке за первый проход и до 9 см в конце поливного сезона, несмотря на увеличение длины пролета до 59,5 м (рис. 8).

Анализ данных показывает, что на почвах повышенной прочности при использовании низконапорных дождевателей ДМ целесообраз-

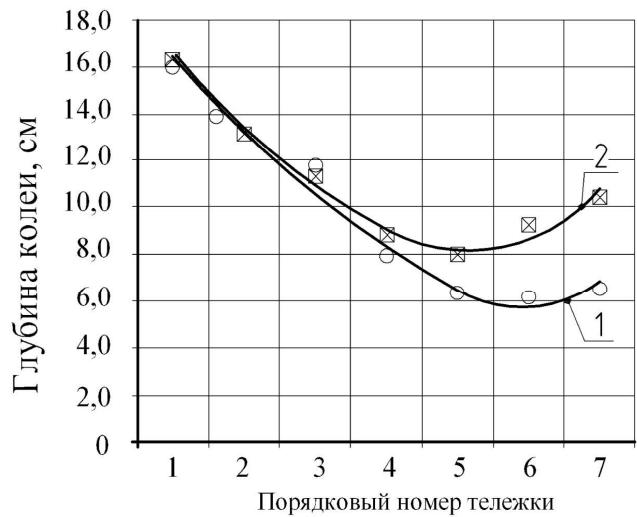


Рис. 7. Зависимость глубины колеи от номера опорной тележки в конце поливного сезона:

1 – ДМ «Кубань-ЛК1М» (48,7 м пролет, шины 14,9-24, схема расстановки 6),
 $H'' = 0,041n_{\text{от}}^3 + 0,023n_{\text{от}}^2 - 3,489n_{\text{от}} + 19,8; R^2 = 0,967$;
 2 – ДМ «Кубань-ЛК1М» (48,7 м пролет, шины 14,9-24, схема расстановки 1),
 $H'' = 0,125n_{\text{от}}^3 - 1,197n_{\text{от}}^2 + 0,927n_{\text{от}} + 16,15; R^2 = 0,986$

но 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

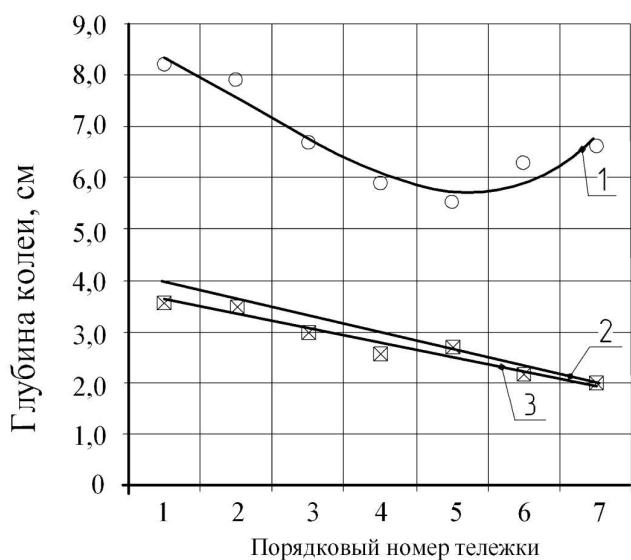


Рис. 8. Зависимость глубины колеи от номера опорной тележки при несущей способности почвы 110-125 кПа в начале (1) и конце (2) поливного сезона, ДМ «Кубань-ЛК1М» (59,5 м пролет, шины 16,9-24, схема расстановки 2):
 1 – $H'' = 0,03n_{\text{от}}^3 - 0,206n_{\text{от}}^2 - 0,357n_{\text{от}} + 8,871; R^2 = 0,935$; 2 – теоретическая зависимость;
 3 – $H'' = -0,275n_{\text{от}}^3 + 3,9; R^2 = 0,953$. Достоверность аппроксимации уравнений составляет 0,95



значениями ширины профиля, нежели рекомендуемые, но для уменьшенных величин длин пролетов ДМ или уменьшенного диаметра водопроводящего трубопровода.

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

1) повышенной несущей способности (тяжелосуглинистые почвы, нормы полива до $300 \text{ м}^3/\text{га}$, $P_{\text{пп}} \geq 80 \dots 100 \text{ кПа}$) узкопрофильные пневматические колеса. Глубина колеи – не более $H'' = 0,08 \dots 0,1 \text{ м}$;

2) средней несущей способности (суглинистые почвы, нормы полива $300 \dots 500 \text{ м}^3/\text{га}$, $P_{\text{пп}} \geq 60 \dots 80 \text{ кПа}$) – обычные шины. Глубина колеи $H'' = 0,05 \dots 0,1 \text{ м}$;

3) низкой несущей способности (легкие, норма полива более $500 \text{ м}^3/\text{га}$, $P_{\text{пп}} < 60 \text{ кПа}$) – широкопрофильные шины, $H = 0,1 \dots 0,15 \text{ м}$.

Полученные экспериментальные данные хорошо сочетаются с показателями теоретических расчетов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Василенков В.Ф., Демина О.Н. Экологическая и экономическая оптимизация эксплуатационного режима орошения современными дождевальными машинами / В.Ф. Василенков, С.В. Василенков // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2015. – № 4. – С. 85–92.

2. Есин А.И., Соловьев Д.А., Журавлева Л.А. Исследования характеристик потока воды в водопроводящем поясе дождевальной машины // Научная жизнь. – 2018. – № 2. – С. 16–25.

3. Есин А.И., Соловьев Д.А., Журавлева Л.А. Математическое моделирование водопроводящего пояса дождевальных машин // Научная жизнь. – 2017. – № 9. – С. 20–28.

4. Есин А.И., Соловьев Д.А., Журавлева Л.А. Рекомендации по выбору дождевателей «Каскад» для дождевальных машин // Мелиорация и водное хозяйство. – 2018. – № 2. – С. 16–22.

5. Рациональное снижение металлоемкости при конструировании широкозахватных дождевальных машин / Ф.К. Абдразаков [и др.] //

Аграрный научный журнал. – 2018. – № 5. – С. 37–42.

6. Рыжко Н.Ф. Обоснование ресурсосберегающего дождевания // Вестник Саратовского госаграрного университета им. Н.И. Вавилова. – 2014. – № 7. – С. 40–45.

7. Рязанцев А.И., Кириленко Н.Я., Шереметьев А.В. Технологические особенности полива дождевальной машиной «Фрегат» культурных пастищ // Техника и технологии агропромышленного комплекса. Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. – 2012. – № 5. – С. 27–30.

8. Рязанцев А.И., Антипов А.О. Технико-эксплуатационные особенности многоопорной электрифицированной дождевальной машины нового поколения «Кубань-ЛК1» // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2016. – № 2. – С. 83–87.

9. Слюсаренко В.В., Надежкина Г.П., Рыжко Н.Ф. Технические решения для повышения площади полива и коэффициента земельного использования дождевальных машин кругового действия // Научная жизнь. – 2014. – № 2. – С. 100–109.

10. Совершенствование конструкций дождевателей для мобильных дождевальных машин / А.Л. Сальников [и др.] // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. – 2013. – № 4. – С. 209–214.

11. Abdrakazov F.K., Soloviev D.A., Zhuravleva L.A. The studies of water flow characteristics in the water conducting belt of wide-coverage sprinkling machines // The Turkish Online Journal of Design, Art and Communication – TOJDAC ISSN: 2146–5193. Special Edition, March 2018. P. 567–577.

12. Esin A.I., Boikov V.M., Mukhin V.A. Mathematical Modeling of water Conducting Belt for Circular Action Sprinkler // Jour of Adv Research in Dynamical & Control Systems, Vol. 10, 01–Special Issue, 2018. P. 2135–2141.

Журавлева Лариса Анатольевна, д-р техн. наук, проф. кафедры «Техносферная безопасность и транспортно-технологические машины», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.

410056, г. Саратов, ул. Советская, 60..
Тел.: (8452) 74-96-63.

Ключевые слова: орошение; дождеватель; норма полива; давление; колея; ходовые системы; почва.

REDUCTION THE IMPACT OF RUNNING SYSTEM OF SPRINKLING MACHINE ON THE SOIL

Zhuravleva Larisa Anatolieva, Doctor of Technical Sciences, Professor of the chair “Technosphere Safety and Transport-technological Machines”, Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.

Keywords: irrigation; sprinkler; irrigation rate; pressure; track; running systems; the soil.

Carried out researches have allowed to establish the optimum plan for the installation of sprinklers for sprinkling machine “Kuban-LK1M” (Cascade) and “CASCADE” in accordance with the applicable running systems and parameters of water conveyance pipeline, load-bearing capacity of the soil and the application rate.

