Тип статьи: научная
УДК 631.347.3.012.3.001.2
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-3-32-39

ОЦЕНКА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПОЧВЫ ПРИ ПОЛИВЕ ДМ «КУБАНЬ-ЛК1» УЧАСТКОВ НА СЛОЖНОМ РЕЛЬЕФЕ

Анатолий Иванович Рязанцев [1]***, Александр Николаевич Зазуля*** [2]***, Евгений Юрьевич Евсеев*** [3]***, Алексей Олегович Антипов*** [4]

[1] Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга», Московская обл., Коломенский р-он, пос. Радужный, Россия
[2] Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, Россия
[3,4] Государственный социально-гуманитарный университет, Московская обл. г.о. Коломна, Россия
[1]ryazantsev.41@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-9829-8196
[2]zazulja_an@rambler.ru
[3]evseev.evgeniy.1995@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-6133-2661
[4]antipov.aleksei2010@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-4374-163X

Автор ответственный за переписку: Анатолий Иванович Рязанцев, ryazantsev.41@mail.ru
Corresponding author: Anatoly Ryazantsev, ryazantsev.41@mail.ru

Реферат. *Рассмотрены вопросы обеспечения достаточных опорно-сцепных свойств широкозахватной дождевальной машины (ДМ) «Кубань-ЛК1» для работы на сложных по рельефу участках за счет повышения несущей способности почвенной поверхности. Отмечается, что при увеличенной интенсивности дождя и, соответственно, повышенного лужеобразования в зоне движения ходовых систем, наблюдается интенсивное колееобразование, ведущее к изгибу водопроводящего трубопровода и, в конечном счете, к срабатыванию системы защиты. Указанный недостаток негативно отражается на коэффициенте использования сменного времени и, следовательно, на общей производительности работы ДМ. Для его устранения предложено использовать поступательное снижение интенсивности подачи воды ДМ, что приведет к повышению несущих свойств почвы. Определено, что при работе на склоновых участках интенсивность дождя в концевой части ДМ составляет 0.4 мм/мин. Экспериментально установлено, что снижения интенсивности дождя можно добиться за счет уменьшения расхода дождевальных аппаратов, а также посредством увеличения площади распыла струи. Для снижения интенсивности до 0.3 мм/мин предложена установка регулирующих устройств. Но установлено, что дальнейшее регулирование значений интенсивности дождя ограничивается максимально допустимой длиной уменьшения радиуса полива дождевальными аппаратами. Для снижения интенсивности дождя до 0.2 мм/мин, предложена установка рассекателей стерневого типа для распыла струи дождевальных аппаратов. Анализ экспериментальных данных по зависимости несущей способности почвы от интенсивности дождя и величины поверхностного стока показал, что при поступательном снижении интенсивности дождя регулирующими устройствами и рассекателями обеспечивается повышение несущей способности почвы с 43 – 47 кПа без устройств регулирования, до 72 – 82 кПа с ними. В конечном счете, обеспечение достаточных опорных свойств позволяет добиться производительной работы ДМ «Кубань-ЛК1» на склоновых участках.*

Ключевые слова: *дождевальная машина; производительность работы; несущая способность; регулирующее устройство; рассекатель струи; расход; интенсивность дождя; сложный рельеф.*

ASSESSMENT OF THE BEARING CAPACITY OF THE SOIL WHEN WATERING DM «KUBAN-LK1» ON SLOPING AREAS

Anatoly Ryazantsev [1]***, Alexander Zazulya*** [2]***, Evgeny Evseev*** [3]***, Alexey Antipov*** [4]
[1]*All-Russian Research Institute of Irrigation Systems and Agricultural Water Supply «Raduga», Moscow region, Kolomenskoye district, village Raduzhny, Russian Federation*
[2]*All-Russian Research Institute for the Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Tambov, Russian Federation*
[3,4] *State Social and Humanitarian University, Moscow region, Kolomna, Russian Federation*
[1]ryazantsev.41@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-9829-8196
[2]zazulja_an@rambler.ru
[3]evseev.evgeniy.1995@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-6133-2661
[4]antipov.aleksei2010@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-4374-163X

Abstract. *The issues of ensuring sufficient support-coupling properties of the Kuban-LK1 wide-sprinkler sprinkling machine (SM) for working on difficult terrain areas by increasing the bearing capacity of the soil surface are considered. It is noted that with increased rain intensity and, accordingly, increased puddle formation in the zone of movement of running systems, intensive rutting is observed, leading to a bend in the water supply pipeline and, ultimately, to the operation of the protection system. This drawback has a negative impact on the shift time utilization rate and, consequently, on the overall performance of the SM. A progressive decrease in the intensity of the SM water supply is proposed to be used to eliminate it, which will lead to an increase in the bearing properties of the soil. It was determined that when working on slopes, the rain intensity at the end of the SM is 0.4 mm/min. It has been experimentally established that a decrease in the intensity of rain can be achieved by reducing the consumption of sprinklers, as well as by increasing the spray area of the jet. Installation of control devices is proposed to reduce the intensity to 0.3 mm/min. But it has been established that further regulation of rain intensity values is limited by the maximum allowable length of the decrease in the irrigation radius by sprinklers. The installation of stubble-type spreaders for spraying the jet of sprinklers is proposed to reduce the intensity of rain to 0.2 mm/min. An analysis of the experimental data on the dependence of the soil bearing capacity on the intensity of rain and the magnitude of surface runoff showed that with a progressive decrease in the intensity of rain, control devices and dividers provide an increase in the bearing capacity of the soil from 43–47 kPa without control devices to 72–82 kPa with them. Ultimately, the provision of sufficient support properties makes it possible to achieve productive operation of the Kuban-LK1 DM on slope areas.*

Keywords: *sprinkling machine; work performance; load bearing capacity; control device; jet divider; consumption; rain intensity; complex terrain.*

Для цитирования: Рязанцев А.И., Зазуля А.Н., Евсеев Е.Ю., Антипов А.О. Оценка несущей способности почвы при поливе ДМ «КУБАНЬ-ЛК1» участков на сложном рельефе // Наука в Центральной России. 2023. Т. 63, № 3. С. 32-39. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-3-32-39.

For citation: Ryazantsev A., Zazulya A., Evseev E., Antipov A. Assessment of the bearing capacity of the soil when watering DM “Kuban-LK1” on sloping areas. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 63(3): 32-39. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-3-32-39.

Введение. Широкозахватная дождевальная техника, например ДМ «Кубань-ЛК1» (рисунок 1), работающая в движении по кругу, занимает более 15% объемов парка дождевальных машин. Однако, несмотря на значительные преимущества ее использования, имеется и ряд недостатков. Так, по результатам исследований, выявлено снижение производительности работы «Кубань-ЛК1» на сложных по рельефу участках. Это связано со значительным снижением несущей способности орошаемой поверхности в районе прохода последних тележек машины, вследствие переувлажнения почвенной поверхности в ее концевой части. Интенсивное буксование ходовых систем, приводит к изгибу трубопровода и, в конечном счете срабатыванию аварийной защиты. Указанное отражается на уменьшении коэффициента использования времени смены ($K_{см}$)

[3, 6, 10].

Следовательно, для обеспечения производительной и надежной работы машины, необходимо увеличение несущих свойств почвенной поверхности в зоне движения последней тележки.

Рисунок 1 – Общий вид ДМ «Кубань-ЛК1» при работе на склоновом участке.

Материалы и методы. Несущая способность почвы P_{0nn}, является совокупным показателем, отражающим свойства почвы, значения которой, определяются по представленной эмпирической зависимости (1) [7, 9]:

$$P_{0nn} = P_{0\text{дп}} - (1.4 \times m_{\text{дост.}}^{0.65} + 8 \times 1.01^{m_{\text{ст.}}}) \quad (1)$$

где: $P_{0\text{дп}}$ –несущая способность орошаемой поверхности до полива, кПа; $m_{\text{дост}}$ – величина достоковой нормы полива, м^3/га; $m_{\text{ст}}$ – величина стока, мм/мин.

Исходя из анализа теоретических исследований, показателем, влияющим величину достоковой поливной нормы и, следовательно на несущую способность почвы после полива (P_{0nn}, является интенсивность дождя ρ (2):

$$\rho = \frac{60 \times Q}{S} \quad (2)$$

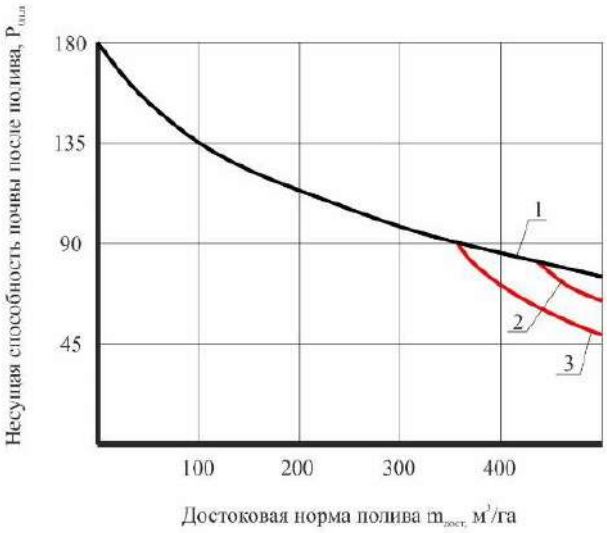
где: Q – регулируемый расход дождевального аппарата, л/с; S – регулируемая площадь дождевального аппарата, м^2.

Как видно из зависимости (2) улучшения условий по повышению несущей способности почвы при работе ДМ «Кубань-ЛК1» на сложных по рельефу участках возможно обеспечить регулированием подачи (интенсивности) воды дождевальными аппаратами, за счет уменьшения их расхода Q и увеличения площади распыла струи S.

Исходя из графической зависимости (рисунок 2) несущей способности обрабатываемой поверхности от величин достоковой нормы полива и стока, при поливе машинной нормой $m_{\text{м}} = 500$ м^3/га, для средней водопроницаемости почвы (Р = 60 мм), величина достоковой нормы $m_{\text{дост}}$, для интенсивности $\rho = 0.4$ мм/мин составляет 350 м^3/га, это обуславливает, согласно зависимости (1), снижение несущей способности почвы $P_{0\text{дп}}$ со 180 кПа до 90, дополнительно, за счет стока $m_{\text{ст}} = 150$ м^3/га – до 45 кПа.

При интенсивности же полива $\rho = 0.3$ мм/мин, присущей выровненному рельефу, обеспечиваемой посредством регулирующих устройств на склоновых участках (патент РФ №2770811), величина достоковой нормы и несущей способности почвы соответственно возрастает до 450 м^3/га и 70 кПа [2, 4].

В целях сохранения, отрегулированных по расходу и напору, параметров дождевальных аппаратов, в концевой части машины ($Q = 1.6 - 1.7$ л/с, $H = 0.30 - 0.32$ МПа), для исключения еще имеющегося стока величиной $m_{\text{ст}} = 50$ м^3/га определяемого наклонной поверхностью, повышения несущей способности почвы до 80 кПа и более, необходимо снижение интенсивности дождя до $\rho = 0.20$ мм/мин.



1, 2, 3 – интенсивность дождя ρ соответственно, 0.20; 0.3; 0.4 мм/мин.
Рисунок 2 – Зависимость несущей способности почвы от величин достоковой нормы полива и стока.

Этого можно достичь, увеличением площади распыла струи рассекателем дождевального аппарата (рисунок 3) (патент РФ №276732), обуславливающим снижение среднего значения интенсивности дождя с 0.3 до 0.2 мм/мин [1, 5].

Рисунок 3 – Водопроводящий узел дождевального аппарата.

С целью оценки несущей способности почвы в зависимости от опорно-сцепных свойств ДМ «Кубань-ЛК1» были проведены лабораторные экспериментальные исследования, определяемые качественными характеристиками дождя (величиной поливной нормы, достоковых ее значений, интенсивностью подачи и другими).

Моделирование изменения несущей способности почвы, посредством регулирования интенсивности дождя и распыла струи дождевальных аппаратов ДМ «Кубань-ЛК1» и ее влияния

на опорно-сцепные свойства машины, осуществлялось на лабораторной установке, представляющей собой почвенный канал (рисунок 4, а), на основе методики оценки функциональных показателей, утвержденной Минсельхозом России (СТО АИСТ 11.1 – 2010. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и установки дождевальные. Методы оценки функциональных показателей) [8]. Оценка несущей способности почвы производилась с помощью самопогружного почвомера-пенетрометра, патент РФ №209931 (рисунок 4, б).

а

б

а – почвенный канал; б – почвомер-пенетрометр.
Рисунок 4 – Оборудование для лабораторных исследований.

Результаты и обсуждение. Результаты исследований по выявлению зависимости несущей способности почвы (суглинок, поле подготовленное под посев) при различных нормах полива (300; 400; 500 м^3/га) от средней интенсивности дождя представлены в таблице 1 и проиллюстрированы графической зависимостью (рисунок 5) и описаны регрессионным выражением (3):

$$p_0 = 55 + 275 \times m - 1.8996E - 14 \times \rho - 750 \times m^2 - 1.3101E - 14 \times m \times \rho + \\ +2.9436E - 17 \times \rho^2 \quad (3)$$

Таблица 1 - Показатели несущей способности почвы от режима полива (тип почвы – средний суглинок; агрофон – поле, подготовленное под посев)

Поливная норма, m, м^3/га	300			400			500		
Средняя интенсивность дождя, р, мм/мин	0.2	0.3	0.4	0.2	0.3	0.4	0.2	0.3	0.4
Величина стока, $m_{ст}$, м^3/га	0	0	0	0	0	50	0	50	150
Несущая способность почвы	93	93	93	86	86	75	82	69	43

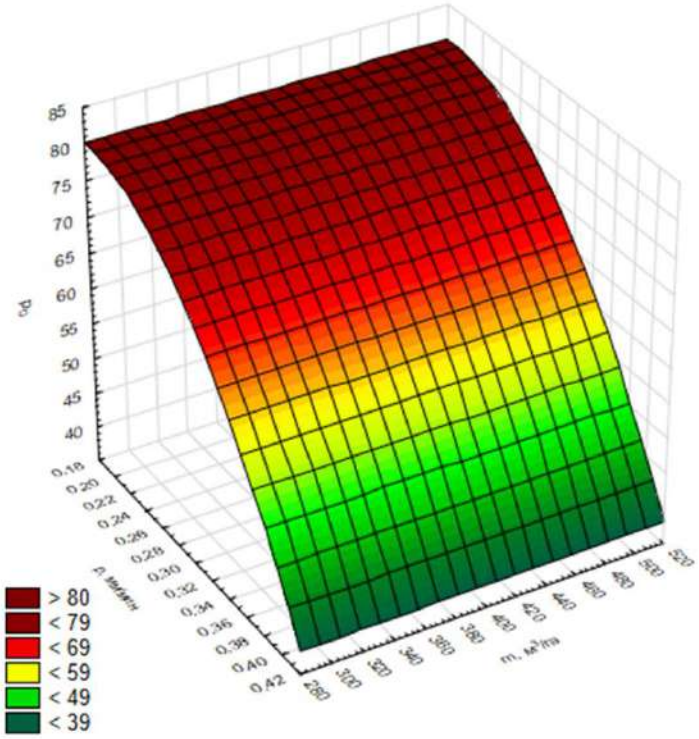


Рисунок 5 – График зависимости несущую способности почвы от значений достоковой поливной нормы и интенсивности дождя.

Как видно из приведенных данных, в целом, при увеличении значения поливной нормы с 300 до 500 м^3/га несущая способность почвы уменьшается. При этом наименьшее ее значение для типового режима обработки ($m = 500$ м^3/га) и средней интенсивности его подачи ($\rho = 0.4$ мм/мин), за счет увеличенного поверхностного стока ($m_{\text{ст}} = 150$ м^3/га), составляет около 43 кПа.

Снижение средней интенсивности дождя, за счет регулирования расхода, до 0.3 мм/мин и улучшения распыла струи дождевального аппарата, до 0.2 мм/мин, обеспечило ликвидацию поверхностного стока 100 и 50 м^3/га и повышение несущих свойств почвы до 69 и 82 кПа.

Как показали исследования, повышение несущей способности почвы с 43 кПа до 82 кПа позволило уменьшить колееобразование макетного образца тележки ДМ «Кубань-ЛК1» с 0.28 – 0.30 до 0.10 – 0.13. Полученные экспериментальные данные согласуются с теоретическими, расхождения составляют не более 3.5%.

Заключение. При увеличении поливной нормы, на сложных по рельефу участках, с 300 до 500 м^3/га несущая способность почвы уменьшается и при интенсивности подачи раствора $\rho_{\text{ср}} = 0.4$ мм/мин (величина стока $m_{\text{ст}} = 150$ м^3/га) она составляет в пределах 43 – 47 кПа. При этом, за счет регулирования расхода и распыла струи дождевальных аппаратов и, как следствие, снижение средней интенсивности дождя, соответственно до 0.30 и 0.20 мм/мин, обеспечивается повышение несущих свойств почвенной поверхности в концевой части машины, соответственно до 0.72 и 0.82 кПа.

То есть, исходя из соответствия среднего давления ходовых систем последних тележек (0.70 – 0.80 кПа) [11] полученным показателям несущей способности почвы, можно заключить о достаточности их опорных свойств и обеспечении плановой производительности работы машины.

Список источников

1. Абдразаков Ф.К., Чуркина К.И. Оценка агротехнических и гидравлических характеристик распыла при работе различных типов щелевых распылителей // Аграрный научный журнал. 2022. №4. С.70-75.

2. Журавлева Л.А., Попков И.А., Магомедов М.С. Моделирование движения воды во вращающихся дождевателях широкозахватных дождевальных машин // Природообустройство. 2022. №1. С.48-53.

3. Оптимизация широкозахватных дождевальных машин кругового действия для сложных почвенно-рельефных условий / А. И. Рязанцев, А.О. Гаврилица. – Кишинев: Штиинца, 1991. – 200 с.

4. Патент на изобретение №2770811, Многоопорная дождевальная машина кругового действия / Рязанцев А.И., Евсеев Е.Ю., Антипов А.О., Бышов Н.В., Костенко М.Ю., Рембалович Г.К., Безносюк Р.В. – 2020144291, заявлено 29.12.2020, опубл. 22.04.2022. – 7 с.

5. Патент на полезную модель №2769732, Способ установки стержневого рассекателя на дождевальном аппарате / Рязанцев А.И., Евсеев Е.Ю., Турапин С.С. Антипов А.О. - 2020142352, заявлено 21.12.2020, опубл. 05.04.2022. – 5 с.

6. Рязанцев А.И. Повышение опорных свойств многоопорной машины «Кубань-ЛК1» / Рязанцев А.И., Зазуля А.Н., Евсеев Е.Ю., Антипов О.В., Антипов А.О. // Наука в центральной России. 2022. №6 (60). С.35-41.

7. Рязанцев А.И., Турапин С.С., Евсеев Е.Ю., Антипов А.О. Обоснование регулирования расхода дождевальных аппаратов широкозахватных машин кругового действия // Мелиорация и водное хозяйство. 2022. №3. С.6-10.

8. СТО АИСТ 11.1 – 2010. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и установки дождевальные. Методы оценки функциональных показателей / ФГБНУ «Росинформагротех». – М., 2012. – 54 с.

9. Технические условия ТУ 4734-350-00008064-2005 / Машина дождевальная электрифицированная круговая «Кубань-ЛК1» // ФГНУ ВНИИ «Радуга» - Коломна, 2005.

10. Технологические особенности полива и показатели оценки эффективности ходовой системы ДМ «Кубань-ЛК1» / Рязанцев А.И., Антипов А.О., Малько И.В., Смирнов А.И., Евсеев Е.Ю. // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева, 2019. №4 (44). С.110-113.

11. Рязанцев, А.И. Механизация полива широкозахватными дождевальными машинами кругового действия в сложных условиях / А.И. Рязанцев. – Рязань: Рязаньагроинформ, 1991. – 131 с.

References

1. Abdrazakov F.K., Churkina K.I. Evaluation of agrotechnical and hydraulic characteristics of the spray during the operation of various types of slot sprayers // Agrarian scientific journal. 2022. No. 4. pp.70-75.

2. Zhuravleva L.A., Popkov I.A., Magomedov M.S. Modeling of water movement in rotating sprinklers of wide-reach sprinkler machines // Nature management. 2022. No. 1. pp. 48-53.

3. Optimization of wide-reach circular sprinkler machines for difficult soil-relief conditions / A. I. Ryazantsev, A.O. Gavrilitsa. – Chisinau: Stiinza, 1991. – 200 p.

4. Patent for invention No. 2770811, Multi–support sprinkler machine of circular action / Ryazantsev A.I., Evseev E.Yu., Antipov A.O., Byshov N.V., Kostenko M.Yu., Rembalovich G.K., Beznosyuk R.V. - 2020144291, announced 12/29/2020, publ. 22.04.2022. – 7 p.

5. Patent for utility model No. 2769732, Method of installing a rod divider on a sprinkler / Ryazantsev A.I., Evseev E.Yu., Turapin S.S. Antipov A.O. - 2020142352, declared on 12/21/2020, publ. 05.04.2022. – 5 p.

6. Ryazantsev A.I. Increasing the supporting properties of the multi-support machine "Kuban-LC1" / Ryazantsev A.I., Zazulya A.N., Evseev E.Yu., Antipov O.V., Antipov A.O. // Science in Central Russia. 2022. No.6 (60). pp.35-41.

7. Ryazantsev A.I., Turapin S.S., Evseev E.Yu., Antipov A.O. Substantiation of the regulation of the flow of sprinklers of wide-reach circular machines // Land reclamation and water management. 2022. No.3. pp.6-10.

8. STO STORK 11.1 – 2010. Tests of agricultural machinery. Sprinkler machines and installations. Methods of evaluation of functional indicators / FSBI "Rosinformagrotech". – M., 2012. – 54 p.

9. Technical specifications TU 4734-350-00008064-2005 / Sprinkler machine electrified circular "Kuban-LC1" // FGNU Research Institute "Rainbow" - Kolomna, 2005.

10. Technological features of irrigation and performance evaluation indicators of the running system DM "Kuban-LC1" / Ryazantsev A.I., Antipov A.O., Malko I.V., Smirnov A.I., Evseev E.Yu. // Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, 2019. No. 4 (44). pp.110-113.

11. Ryazantsev, A.I. Mechanization of irrigation with wide-reach circular sprinkler machines in difficult conditions / A.I. Ryazantsev. – Ryazan: Ryazanagroinform, 1991. – 131 p.

Информация об авторах

А.И. Рязанцев - доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ; А.Н. Зазуля - доктор технических наук, профессор; Е.Ю. Евсеев - преподаватель кафедры технических систем, теории и методики образовательных процессов; А.О. Антипов – кандидат технических наук, доцент.

Information about the authors

A. Ryazantsev - Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation; A. Zazulya - Doctor of Technical Sciences, Professor; E. Evseev - Lecturer of the Department of Technical Systems, Theory and Methodology of Educational Processes; A. Antipov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor.

Вклад авторов все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: *all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication*.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 03.06.2023 Принята к публикации (Accepted): 26.06.2023